

Seppo Saarelainen, Jouko Törnqvist

# **Painorajoituksen ajoituksen ja suuruuden määrittäminen**

**Alempiasteisten teiden taloudellinen ylläpito  
Esiselvitys**

**Tiehallinnon selvityksiä 8/2004**



Seppo Saarelainen, Jouko Törnqvist

# **Painorajoituksen ajoituksen ja suuruuden määrittäminen**

**Alempiasteisten teiden taloudellinen ylläpito  
Esiselvitys**

**Tiehallinnon selvityksiä 8/2004**



ISSN 1457-9871  
ISBN 951-803-223-8  
TIEH 3200858

Verkkoversio ([www.tiehallinto.fi/julkaisut](http://www.tiehallinto.fi/julkaisut)) pdf  
ISSN 1459-1553  
ISBN 951-803-224-6  
TIEH 3200858-v

Edita Prima Oy  
Helsinki 2004

Julkaisua myy:  
[asiakaspalvelu.prima@edita.fi](mailto:asiakaspalvelu.prima@edita.fi)  
puh. 020 450 011  
fax. 020 450 2470



TIEHALLINTO  
Opastinsilta 12 A  
PL 33  
00521 HELSINKI  
Puhelinvaihte 0204 22 11

**Seppo Saarelainen, Jouko Törnqvist: Painorajoituksen ajoituksen ja suuruuden määrittäminen. Esiselvitys.** Helsinki 2004. Tiehallinto, Tiehallinnon selvityksiä 8/2004. 63 s. + liitt. 18 s. ISSN 1457-9871, ISBN 951-803-223-8, TIEH 3200858.

**Asiasanat:** kelirikko, sulamispehmeneminen, urautuminen, paino, rajoitukset, ajoitus  
**Aiheluokka:** 70

## TIIVISTELMÄ

Painorajoitusta käytetään Suomessa kevätsulamisen aikaan pääasiassa vähiliikenteisten kevytpäälyste- ja sorateiden kelirikkovaurioiden estämiseen. Painorajoitus määritetään paikallisten olojen mukaan koskemaan yleensä tielle tulevia puun tai maan kuljetuksia. Painorajoituksen määrittämisen on todettu vaihtelevan eri alueilla suuresti.

Tässä raportissa tarkastellaan roudan ja sulamisen kehittymistä ja arviointitapoja kelirikkovaurioriskin ajoittamiseksi ja painorajoituksen ajoituksen täsmentämiseksi. Edelleen tarkastellaan tutkimusmenetelmiä kelirikkoisen tien rakenteen ja pohjamaan ja olosuhteiden selvittämiseksi sekä kantavuusmitausten suoritustapaa, ajoitusta ja tulkintaa.

Runkokelirikon aikana syntyvää urautumista ja siihen liittyviä vaurioita voidaan analysoida muodonmuutosmalleilla. Todettiin, että tiedot kelirikon aikaisesta liikennekuormituksesta ovat yleispiirteisiä ja puutteellisia, ja menetelmää tulisi kehittää.

Lopuksi tarkastellaan painorajoituksen asettamisen periaatteita Minnesotassa ja nykyisin Suomessa, sekä sitä, miten painorajoituksen ajoitusta ja suuruuden määrittämistä voitaisiin täsmentää. Liitteissä tarkastellaan alustavasti painorajoituksen kannattavuustarkastelua sekä esitetään kehittämisaiheita jatkotyötä varten.

**Seppo SAARELAINEN, Jouko TÖRNQVIST: Painorajoituksen ajoituksen ja suuruuden määrittäminen. Esiselvitys [Bestämning av tidsinställning och storlek för viktbe-gränsning. Förutredning].** Helsingfors 2004. Vägförvaltning. Vägförvaltningens utredningar 8/2004. 63 s. + bilagor 18 s. ISSN 1457-9871, ISBN 951-803-223-8, TIEH 3200858.

**Nyckelord:** menföre, tjällossning, tining, skada, viktbe-gränsning, timing

## **SAMMANFATTNING**

Viktbe-gränsning används i Finland liksom i Norden under vartiningssesong-en för att hindra menföreskador huvudsakligen på lågtrafikerade, lättbelagda vägar eller grusvägar. Viktbe-gränsningen bestäms enligt lokala förhållanden att vidröra jord- och virkestransporter. Betämningsprinciper och underlag har konstaterats variera stort mellan regioner.

I den här rapporten granskas tjälens och tiningsförloppets utveckling samt utvärderingsmetoder för timing av menföreskaderisken och precisering av viktbe-gränsningens tidsinställning. Vidare granskas undersökningsmetoder för utredning av vägöverbyggnad, undergrund och lokala omständigheter vid en väg, som har mänförerisk, samt bärighetsmätningarnas utförande, timing under tiningsförloppet och tolkning.

Spårbildningen, som uppkommer under djupmenföre och beträffande skador kan analyseras och förutses med hjälp av deformationsmodeller. Man konstaterade, att uppgifterna om trafikbelastningen under menföreperioden är översiktiga och bristfälliga, och bättre metoder borde utvecklas.

Till slut granskas viktbe-gränsningens utsättningsprinciper i Minnesota och nutida Finland, samt det, hur man skulle kunna förbättra timingen och storleksbestämningen vid viktbe-gränsningen. I Bilagor framställs en preliminär lönsamhetsutredning för viktbe-gränsningsverksamhet och ämnen för den fortsatta utvecklingen.

**Seppo Saarelainen, Jouko Törnqvist: Painorajoituksen ajoituksen ja suuruuden määrittäminen. Esiselvitys. [Determination of timing and level of seasonal weight limits. Prestudy].** Helsinki 2003. Finnish Road Administration. Finnra Reports 8/2004.. 64 p. + app. 18 p. ISSN 1457-9871, ISBN 951-803-223-8, TIEH 3200858.

**Keywords:** frost, spring thaw, thaw weakening, damage, weight limits, timing

## **ABSTRACT**

Seasonal weight limits are applied in Finland during spring thaw period to prevent thaw damage on light surfaced or gravel roads. The weight limit is determined, in general, according to the local conditions to mainly concern earth aggregate or wood transport. The weight limit criteria and operation has been found to vary greatly between regions.

In this report, the development and estimating of frost and thaw penetration are studied for timing the risk of thaw damage and better specifying the weight limit period. Methods to investigate the pavement and subgrade and local road conditions are described as well as the procedure, timing and analysis of the pavement modulus measurement.

Rutting and resulting pavement damage during the deep thaw weakening can be simulated with deformation models. The traffic loading data during thaw period was seen to be non-specific and deficient, and the procedure should be developed further.

Finally, the principles of setting seasonal weight limits in Minnesota and currently in Finland are described. The possibilities of improvement in specifying the timing and level of weight limits are discussed. In appendix, a preliminary study on the cost-effectness of weight limits is presented, as well as project proposals for the future development work.



## Sisältö

<b>1</b>	<b>JOHDANTO</b>	<b>13</b>
1.1	Ongelmat ja tavoitteet	13
1.2	Tiehallinnon tutkimuksissa esille tuotuja näkökantoja	13
1.3	Metsäteollisuuden tutkimuksia kelirikon vaikutuksesta kustannuksiin	14
1.4	Pohdintoja	15
1.5	Tiestön parantaminen	16
1.6	Kelirikon lyhyt oppimäärä	16
<b>2</b>	<b>ROUDAN JA SULAMISEN SYVYYDEN ARVIOINTI/MITTAUS</b>	<b>19</b>
2.1	Roudan syvyyden arviointi	19
2.2	Sulamissyvyyden arviointi	20
2.2.1	Sulamisen merkitys painorajoituksen asettamisessa ja poistamisessa	20
2.2.2	Ilman lämpöastesumman kehitys	20
2.2.3	Sulamissyvyyden kehitys ajan mukaan pinnan lämpöastesumman kehityksen perusteella	22
2.2.4	Roudan ja sulamisen syvyyden mittaus	29
2.3	Johtopäätökset	29
<b>3</b>	<b>RAKENNEKERROSTEN PAKSUUDEN/LAADUN ARVIOINTI JA MÄÄRITYS</b>	<b>30</b>
3.1	Tietotarve	30
3.2	Arviointi maastossa	30
3.3	Arviointi tutkamittausten perusteella	31
3.4	Määrittäminen koekuopasta	31
3.5	Arviointi karttatiedon ja pohjatutkimusten mukaan	32
3.6	Landsat-skannerin käyttö maaperäselvityksissä	32
3.7	Johtopäätökset	35
<b>4</b>	<b>TIEN KANTAVUUSMITTAUKSET PPL</b>	<b>36</b>
4.1	Mittausajankohta	36
4.2	Pudotuspainomittaukset	37
4.3	Kerrosmoduulien arviointi takaisinlaskennalla	39
4.4	Johtopäätökset	41
<b>5</b>	<b>TIENPINNAN URAUTUMISEN ARVIOINTI JA MÄÄRITYS</b>	<b>41</b>
5.1	Tierakenteen ja pohjamaan resilienssimuodonmuutosten määrittäminen	41
5.2	Pysyvien muodonmuutosten arviointi	41



5.3	Tien urautumisen mekanistinen ajatusketju höystettynä kokemuksilla	43
5.4	Johtopäätökset	50
6	TIEN KUORMITUKSET SULAMISAIKANA	51
6.1	Tierekisteri	51
6.2	Erillinen kuljetussuorite	51
6.3	Johtopäätökset	51
7	PAINORAJOITUSKÄYTÄNTÖ	52
7.1	Minnesotan malli	52
7.2	Tiehallinnon ohjeet	53
7.3	Vaihtoehtoinen esitys mittausten perusteella	55
7.3.1	Painorajoituksen ajoitus	55
7.3.2	Kuormituskestävyys ja painorajoituksen suuruus	56
7.4	Painorajoituksen asettamisen periaatteet	57
7.4.1	Painorajoitus asetetaan	57
7.4.2	Painorajoitusta ei aseteta, mutta vaurioituminen estetään	57
7.4.3	Painorajoitusta ei aseteta, ja vauriot hyväksytään	57
8	YHTEENVETO	57
8.1	Routaantumisen ja sulamisen arviointi	57
8.2	Kelirikkoisen tierakenteen tutkimukset	58
8.3	Sulavan tierakenteen kantavuus	58
8.4	Sulavan tierakenteen vaurioituminen	59
8.5	Liikennekuormitus kelirikkoaikana	60
8.6	Painorajoituksen ajoitus ja suuruus	60
9	JATKOTUTKIMUSTARPEET	61
10	KIRJALLISUUTTA	61
11	LIITTEET	63

## 1 JOHDANTO

### 1.1 Ongelmat ja tavoitteet

Suomessa on yleisiä teitä noin 80 000 km, joista päällystettyjä teitä on noin 55 000 km. Tiehallinnon alaisia sorateitä on noin 25 000 km. Tehtyjen inventointien mukaan näistä on kelirikkoriskin alaisia noin kolmannes. Kelirikkoriski toteutuu painorajoituksena noin puolella kelirikkoriskin alaisista teistä. Julkisten teiden ohella yksityisteiden kelirikko on myös suuri haitta. Yksityisiä teitä on noin 280 000 km. Näistä merkittävä osa on metsäteitä. Metsäteiden rakennestandardi on asetettu 1980-luvulla niin, ettei niitä ole suunniteltu kelirikkoajan kuljetuksiin. Menettelytapaa tällaisten, kevyesti rakennettujen teiden kuormituskapasiteetin määrittämiseksi tarvittaisiin.

Metsäteollisuus on esittänyt, että sorateiden kelirikko aiheuttaa puuhuollolle vuotuisina lisäkustannuksina noin 100 milj. €. Tämä jakaantuu teollisuuden arvonalennuksiin ja tappioihin, kuljetuskaluston seisokkeihin ja puunkorjuun seisokkeihin. Tämän lisäksi kuljetushäiriöt ja painorajoitukset aiheuttavat lisäkustannuksia myös muiden elinkeinoille.

Hankkeen tavoitteena on olemassa olevan tiedon pohjalta tehdä synteesi siitä, kuinka painorajoituksia alempiasteisille teille tulisi asettaa ja mitkä osatekijät tulisi huomioida painorajoitusten asettamisessa. Tavoitteena on siten parantaa alempiasteisen tieverkon ylläpidon panos-tuotos-suhdetta. Edelleen tavoitteena on laatia selvitys maasto- ja rakennetekijöistä, joiden avulla tien paikallista kelirikkoriskiä voidaan arvioida sekä kausittaisista tekijöistä ja menetelmistä, joilla kelirikkotilaa voidaan arvioida ajassa.

### 1.2 Tiehallinnon tutkimuksissa esille tuotuja näkökantoja

Alempiasteisten teiden merkitys kuljetuksille

Alempiasteiset tiet muodostuvat yleisistä ja yksityisistä teistä. Tämän tieverkon osan yhteispituus on noin 350 000 km eli 97 % koko maan tieverkosta.

Alempiasteisen tieverkon kuorma-autoliikenteen ajosuorite on noin 630 milj. auto-km ja kuljetussuorite 7 - 8 mrd. tkm vuodessa eli noin kolmannes koko tieliikenteen kuljetussuoritteesta. Suoritteen aiheuttamat kuljetuskustannukset ovat 7 - 8 mrd. mk vuodessa. Tärkeimpiä alempiasteisella tieverkolla kuljetettavia tavaroita ovat raakapuu, irtomaito, vilja, muut maataloustuotteet, sora, lannoitteet sekä eräillä alueilla myös turve. Vuotuinen kuljetusvolyymi ilman soran kuljetuksia on noin 60 milj. tonnia, josta raakapuun osuus on kolme neljäsosaa.



Merkittävimmät alempiasteisten teiden puutteet kuljetusten kannalta ovat liukkaus talvella, huono tien geometria, tienpinnan epätasaisuus sekä keli-rikko ja tien huono kantavuus. Ongelmia esiintyy pääasiassa vähäliikenteisillä yhdysteillä ja yksityisillä teillä. Puutteet lisäävät kuljetuskustannuksia ja lisäävät kuljetustyön fyysistä ja psyykkistä rasittavuutta. Kelirikko lisää myös raakapuun hankintaketjun logistisia kustannuksia lisääntyvän varastointitarpeen vuoksi.

Raakapuun kuljetuksissa tulisi kelirikkoajakojen ongelmien vähentämiseksi kiinnittää entistä enemmän huomiota puunhankinnan ja kuljetusten suunnitteluun siten, että tarve käyttää kelirikon takaisia metsävaroja tulee mahdollisimman vähäiseksi. Peruskorjausinvestoinnit tulisi kohdentaa paikkoihin, jotka muodostavat laajavaikutteisimmat pullonkaulat kelirikkoajan kuljetuksille. Liukkausongelmaa voitaisiin lieventää kehittämällä tielaitoksen ja kuljetusten suorittajien yhteistyötä siten, että talvihoidon tasoa tehostetaan tietyksi lyhyeksi ajaksi, jonka kuluessa alueen puutavaravarastot tyhjennetään.

Sorateiden osuus, 47 % yleisistä teistä, on Savo-Karjalassa maan korkein. Vaikka sorateiden liikennesuoriteosuus on vain 7 % kaikista Savo-Karjalan alueella ajetuista kilometreistä, teiden kelirikkaisuus haittaa merkittävästi mm. raakapuun ja maatalouden kuljetuksia. Kelirikko lisää ajomatkaa ja paikoin kuljetukset on keskeytettävä kelirikon ajaksi. Tästä aiheutuu ylimääräisiä kustannuksia elinkeinoelämälle ja haittaa asukkaille.

Kelirikko aiheuttaa suhteellisesti eniten haittaa raakapuukuljetuksille Savo-Karjalassa, Keski-Suomessa ja Hämeessä. Kelirikkohaittavaurioiden poistaminen koko tieverkolla maksaisi vuoden 1995 kelirikkotilanteessa n. 400 milj. markkaa. Käytännössä kelirikon aiheuttama haitta konkretisoituu tiemestaripiirien asettamina painorajoituksina. Tiemestaripiirit ovat toimineet epäyhtenäisesti painorajoitusten määräämisessä. Kehitystyön ansiosta ollaan kuitenkin pääsemässä yhtenäiseen käytäntöön.

Valtion sorateista 30 % (n. 9000 km) on sellaisia, joilla kelirikko on tierekisterien mukaan todettu (Belt et al. 1999).

### **1.3 Metsäteollisuuden tutkimuksia kelirikon vaikutuksesta kustannuksiin**

Metsäteho Oy selvitti keväällä 2002 ensi kertaa Suomessa kattavasti kausivaihtelun aiheuttamat lisäkustannukset metsäteollisuuden puunhankinnalle. Puunhankinnan kausivaihtelun tärkein syy on tiestön kelirikko. Tutkimuksen mukaan pelkästään puutavaran autokuljetuksissa syntyy yli 70 miljoonan markan lisäkustannukset joka vuosi kaluston epätasaisen tarpeen ja seisokien vuoksi.

Metsäteho on selvittänyt kelirikon taloudellisia vaikutuksia puuhuollolle. Selvityksessä on kelirikosta aiheutuneet lisäkustannukset jaettu seuraaviin osiin:

- Ylimääräinen varastointi  
puutavaran käsittely  
suojaaminen  
raaka-aineen laadun heikkeneminen  
sitoutuneen pääoman korko
- Kausihuipusta aiheutuvat kustannukset  
Puunkorjuu- ja kuljetuskaluston ylikapasiteetti  
Henkilöstö  
Seisokit kelirikon aikana
- Lisäkustannukset puuntuottamistyössä
- Kelirikon aikana kuljetuskelpoisista leimikoista korkeampi hinta

Lisäkustannuksia syntyy laskelmien mukaan noin 100 milj. euroa (600 milj. mk) vuosittain.

Ruotsissa SkogForsk on tutkinut tien kunnon vaikutusta metsäteollisuuden kuljetuksiin (Arvidsson et al. 1999) vuonna 1999 ja 1994.

Ruotsalaisessa laskentamallissa käytetään seuraavia kustannuseriä:

- Kausivaihtelusta koituva ylikapasiteetin kustannus  
Hakkuu- ja kuljetuskalustosta aiheutuva lisäkustannus
- Käsittely varastossa (eri tavaralajeille)
- Lisäkuljetuskustannus terminaaliin
- Arvonmenetyt (raaka-aineen laadun huononeminen, eri tavaralajeille)
- Korkokustannus (varasto)
- Yhteensä kustannus varastointitarpeelle

Lisäksi

- Kustannus kuormausasteen pienenemistä (alhaisempi paino)
- Kustannus tien pinnan epätasaisuudesta (nopeuden lasku, ajoneuvon kuluminen)

Kokonaiskustannukseksi Ruotsissa on laskettu noin 900 milj. kruunua (SEK) vuonna 1999.

## 1.4 Pohdintoja

Alemman tieverkon (yleiset ja yksityiset tiet) merkitys on suuri tavarakuljetuksille. Valtiovalta voi vaikuttaa suoraan tielaitoksen teiden kunnossapitoon ja rakentamiseen. Yksityisteiden kuntoon voidaan vaikuttaa erilaisin tuin. Jos tiestön parannustoimet kohdentuvat vain yleisiin teihin, niin kelirikko-ongelmaa ei voida poistaa kokonaan. Kuljetukset käyttävät yleisiä teitä päästäkseen tavarantoimituksen nouto ja jakelupaikalle mutta suurelta osin loppuosa kuljetuksesta käyttää yksityisteitä.



Alemman tieverkon yleisten teiden merkitystä raskaille kuljetuksille, erityisesti puukuljetuksille voidaan tarkastella siten, että oletetuista kelirikkopaikoista poistetaan rajoitukset ja selvitetään kuinka paljon yleistä tiestöä tulee lisää käytettäväksi myös kelirikkoaikaan. Tarkastelu voi olla verkollinen tarkastelu siten että lasketaan kattavuuden muutos tiekilometreinä.

Kelirikkokohteiden merkitystä kuljetuksille voidaan arvioida myös tarkastelemalla kuljetustarvetta ko. kohteen kautta. Tielaitos on määritellyt laskentatavan, joka avulla voidaan arvioida raakapuun kuljetustarvetta eri teillä. Laskentamenettely perustuu tehtaiden sijaintiin ja niiden raaka-ainetarpeeseen sekä puuvarantoihin ja metsän kasvuun. Puustotietojen perusteella voidaan arvioida hakkuumäärät ja puun käytön perusteella puun kuljetussuunta. Verkollisella tarkastelulla saadaan selville potentiaalinen puumäärä, joka kuljetaan yhden tien kautta. Osa tästä kuljetustarpeesta toteutuu myös kelirikkoaikaan.

## 1.5 Tiestön parantaminen

Tiestön kehittämistä voidaan tarkastella kahdesta näkökulmasta:

### 1. Ongelmakohteiden rakentaminen pois

Tässä tapauksessa pyritään 100 % toimintavarmuuteen. Ongelmakohta poistetaan kokonaan ja varmistetaan ettei rakentaminen vain siirrä ongelmaa seuraavan kohtaan tiestöllä.

### 2. Ongelmakohteen paikallistaminen ja käytön rajoittaminen

Kuljetusten ja tien ylläpidon suunnittelussa lähdetään siitä että ajoittainen häiriö sallitaan. Tässä tapauksessa kerätään tietoa tiestöstä, jotta ennen ongelman esiintymistä voidaan tiedottaa osapuolille ongelman esiintymispaikasta, -ajankohdasta ja kestosta. Tätä tietoa käytetään sekä ennaltaehkäisemään häiriön vaikutuksia että varustautumalla vaihtoehtoisilla toimintatavoilla häiriön keston ajaksi.

Tehtaalla on mahdollisuus valita puun kuljetuksen ajankohta.

## 1.6 Kelirikon lyhyt oppimäärä

**Kelirikoksi** nimitetään sitä tierakenteen tilaa, kun sulavan tien kantavuus on alentunut, ja kun sen vaurioitumisriski liikenteen alaisena kasvanut. Kelirikko ilmenee routivilla pohjamailla.

**Pakkasmäärä** määrittelee roudan syvyyden pakkaskaudella. Talven pakkasmäärä määrittelee roudan syvyyden sulamisen alkaessa. Pakkasmäärä ja roudan syvyys vaihtelevat eri puolilla Suomea. Pakkasmäärä vaihtelee samalla paikalla eri talvina rajoitetusti.



**Lämpöastesumma** vaihtelee rajoitetusti samalla paikalla eri vuosina. Ilman lämpöastesumma on paikan ominaisuus. Tienpinnan lämpöastesumma on ilman lämpöastesumman ja auringonsäteilyn lämpövaikutuksen summa, ja se määrää sulamisen etenemisen tierakenteessa. Sulamisen alku, jolloin painorajoitus asetetaan, voidaan määrätä tienpinnan lämpöastesumman rajana. Samoin sulamisen päättymisen voidaan arvioida tienpinnan lämpöastesumman perusteella (ajankohta, jolloin lämpöastesumma on sama kuin edeltävän pakkaskauden pakkasmäärä).

**Tierakenteen sulaessa** sen kantavuus alenee. Savisorapäällyste voi pehmetä (pintakelirikko), mutta rakennekerrosten kantavuus ei merkittävästi alene (enintään 10-15 %). Kun sulaminen etenee routineeseen alusrakenteeseen, runkokelirikko on päällä.

**Pintakelirikossa** tien sulavat pintakerrokset pehmenevät. Pehmeneminen, joka ulottuu noin 10 cm syvyyteen tien pinnasta, voi tapahtua sulamisen alkuvaiheessa, kesällä rankkasateilla tai syksyllä syyssateilla. Pintakelirikossa pinnan pehmeneminen ja urautuminen rajoittuvat tien pintakerrokseen. Pintakelirikko kestää säästä riippuen muutaman viikon ajan.

**Runkokelirikko** seuraa pintakelirikkoa routivalla pohjamaalla, jolloin päällysrakenteen alaosa tai routiva pohjamaa kausittaisesti pehmenee. Pehmeneminen aiheutuu siitä, että routineen pohjamaan routalinssit sulavat tuottaen runsaasti vettä. Tierakenteen sulaminen ja liika vesi yhdessä liikennekuormituksen kanssa aiheuttavat tien kantavuuden huomattavan alenemisen. Runkokelirikkovaihe kestää yleensä useamman viikon tai jopa usean kuukauden ajan. Vauriot syntyvät pohjamaassa ja pehmenneessä päällysrakenteessa.

**Kelirikkovaurio** ilmenee soratien pinnan pehmenemisenä ja urautumisena. Runkokelirikossa tierakenne leikkautuu syvältä, ja tierakenne painuessaan levenee sivuojan päin tai nostaen harjannetta pyöräuran viereen. Pohjamaa voi liettyä ja sekoittua rakennekerrokseen sekä purkautua pinnalle. Kevytpäällysteen pinta halkeilee ja purkautuu. Päällystetyn tien pysyvää urautumista ei voi korjata muuten kuin päällystämällä. Kelirikkovaurion syntyy vaikuttaa tien kantavuus, kelirikkoajan pituus ja tien liikennekuormitus (KKL).

**Kevätkantavuus** on tienpinnan kantavuus sulamisaikana. Pienin kevätkantavuus ilmenee sulamisen päättymisvaiheessa. Tien kantavuus on lähes samalla tasolla koko alusrakenteen sulamisen ajan. Kevätkantavuus on sulaneen päällysrakenteen ja alusrakenteen yhteisvaikutusta, ja se voidaan mitata alusrakenteen sulamisen aikana. Kevätkantavuuden taso voi vaihdella jonkin verran vuodesta toiseen routimisen ja sulamisolojen vaihtelun mukaan. Kevätkantavuuden arviointi muuna aikana tehdyn kantavuusmittauksen perusteella on mahdollista, mutta epätarkkaa. Tienpinnan urautuminen ja vaurioituminen kasvavat kantavuuden aletessa. Alentuneen kevätkantavuuskauden pituus riippuu sulamisajasta, joka on verrannollinen pakkasmäärään (roudan syvyyteen).

**Mitoituspyöräkuorma** on puolet suurimmasta sallitusta akselipainosta (10 tonnia).

**Kuormituskertaluku** (KKL) lasketaan kertomalla eri kulkuneuvojen ylityskertamäärä sen tyypillisen akselipainon mukaisella muuntokertoimella, joka pääsääntöisesti kuvaa ko. pyöräkuorman vauriovaikutusta suhteessa mitoituspöytäkuormaan.

**Sorateiden kelirikko** rajoittuu joko sulamisaikaan (pinta-/runkokelirikko) tai voimakkaisiin sateisiin syksyllä (pintakelirikko). Kelirikkoaikana syntynyt urautuminen ja epätasaisuus voidaan kuivumisen jälkeen kunnostaa tasamalla, ellei vaurioituminen ole ollut vakavaa.

**Päällystetyn tien kelirikkovauriot** ovat pinnan epätasaisia painumia, jotka aiheuttavat päällysteen halkeamista ja purkautumista. Niitä ei voida korjata muutoin kuin rakennetta parantamalla ja uudelleen päällystämällä.

**Tien kuormituskestävyys** tarkoittaa tiettyyn vaurioon johtavaa liikenne- rasitusta. Tien vaurioituminen kasvaa kuormituskertaluvun kasvaessa, tien kantavuuden aletessa ja sulamisen edetessä. Kuormituskestävyys tulisi määrittää, että vaurioriskiä tulevalla liikenteellä (vakioliikenne sekä erillinen, merkittävä kuljetussuorite) voidaan arvioida. Jos kuormituskestävyys ei ole riittävä, on tielle asetettava painorajoitus, tai kuormituskestävyyttä parannettava vahvistamalla tien rakennetta ennen sen vaurioitumista.

**Painorajoituksella** tarkoitetaan sitä, että suurinta sallittua akselipainoa tai ajoneuvon painoa on pienennetty kausiluontoisesti tai pysyvästi tien vaurioitumisen välttämiseksi. Painorajoitus tulisi asettaa silloin, kun vaurioriski syntyy tierakenteen ja pohjamaan sulaessa. Painorajoitus tulisi poistaa, kun vaurioriskiä ei enää ole. Painorajoituksen asettaminen vasta, kun tien on jo havaittu vaurioituneen, on myöhäistä. Painorajoituksen poistaminen ennen, kuin routa routineessa alusrakenteessa on kokonaan sulanut, aiheuttaa myös ennakoimattoman vaurioriskin. Painorajoituksen taso tulisi asettaa niin korkeaksi kuin mahdollista, mutta niin, että vaurioituminen voidaan korjata pelkästään pintaa hoitamalla.



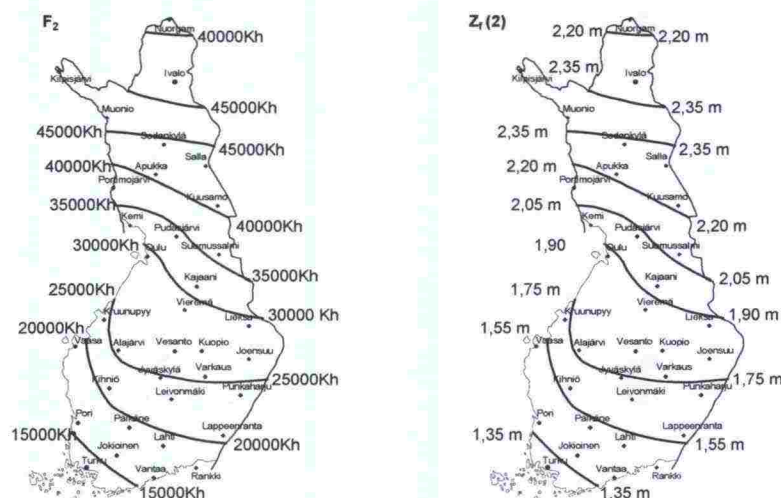
Roudan syvyys  $z_f$  arvioidaan talven pakkasmäärän  $F$  perusteella (kaava 1)

$$z_f = 10 \dots 12 \sqrt{F} \quad (1)$$

F	talven pakkasmäärä (Kh)
1	10
2	15
3	20
4	25
5	30
6	35
7	40
8	45
9	50
10	55
11	60
12	65
13	70
14	75
15	80
16	85
17	90
18	95
19	100
20	105
21	110
22	115
23	120
24	125
25	130
26	135
27	140
28	145
29	150
30	155
31	160
32	165
33	170
34	175
35	180
36	185
37	190
38	195
39	200
40	205
41	210
42	215
43	220
44	225
45	230
46	235
47	240
48	245
49	250
50	255
51	260
52	265
53	270
54	275
55	280
56	285
57	290
58	295
59	300
60	305
61	310
62	315
63	320
64	325
65	330
66	335
67	340
68	345
69	350
70	355
71	360
72	365
73	370
74	375
75	380
76	385
77	390
78	395
79	400
80	405
81	410
82	415
83	420
84	425
85	430
86	435
87	440
88	445
89	450
90	455
91	460
92	465
93	470
94	475
95	480
96	485
97	490
98	495
99	500
100	505

Roudan syvyyttä voidaan laskea kerroslaskentamenetelmillä kuten Watzinger-Skaven-Haug, SSR tai Routa1D. Tällöin jäätyvä rakenne voidaan määrittellä todellisenä, tarvittaessa myös routiminen mukaan lukien.

Pakkasmäärä voidaan valita keskimääräisen talven mukaan (kuva 1) tai toteutuneen pakkasmäärän mukaan, jos arvioitavana on tulevan kevään sulamiskauden pituus.



Kuva 1. Pakkasmäärän mediaani kaudella 1961-90 ja sen perusteella arvioitu keskimääräinen roudan syvyys sulamiskauden alkaessa.

## **2.2 Sulamissyvyyden arviointi**

### **2.2.1 Sulamisen merkitys painorajoituksen asettamisessa ja poistamisessa**

Sulamispehmeneminen alkaa, kun hienoainepitoinen soratien pintakerros sulaa. Päälystetyllä tiellä kantavan kerroksen moduuli pienenee sen sulaessa. Hyvälaatuisilla materiaaleilla pehmeneminen on 10-15 %, ja heikkolaatuisilla (hienoainespitoisilla) kantavan kerroksen materiaaleilla pehmeneminen on merkittävää jopa päälysteen kestävyuden kannalta.

Minnesotassa painorajoitus asetetaan, kun sulamissyvyys on noin 0,15 metriä. Tämä vastaa tienpinnan tehokasta lämpöastesummaa noin 288 Kh. Painorajoitus poistetaan aikaisintaan silloin, kun sulaminen todetaan päättyneeksi. Kantavuusmittauksissa on havaittu kantavuuden aleneminen sulamisen päättymisen jälkeenkin muutaman viikon ajan.

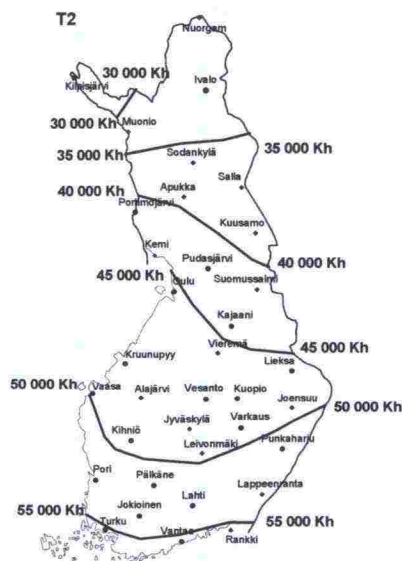
Sulamissyvyyden 0,15 metriä aiheuttava tienpinnan lämpöastesumma 288 Kh on niin pieni, että se syntyy ennen, kuin ilman keskilämpötila nousee nollan yläpuolelle. Sulaminen aiheutuu tällöin auringon lämpövaikutuksesta, vaikka ilman keskilämpötila olisi pakkasen puolella. Tämän vuoksi olisi sulamisen alku määritettävä maastomittauksin esimerkiksi tiesääasemille asennetuista referenssipisteistä.

Painorajoituksen poistaminen tulisi myös tarkastaa kenttämittauksin. Seuraavassa tarkastellaan sulamisaikaa ilmastotietojen perusteella. Vaikka tarkastelu on kohtalaisen luotettava, niin virhemarginaali lienee 5-8 päivää. Painorajoituksen kustannusvaikutukset huomioonottaen kenttämittaus lienee kannattava.

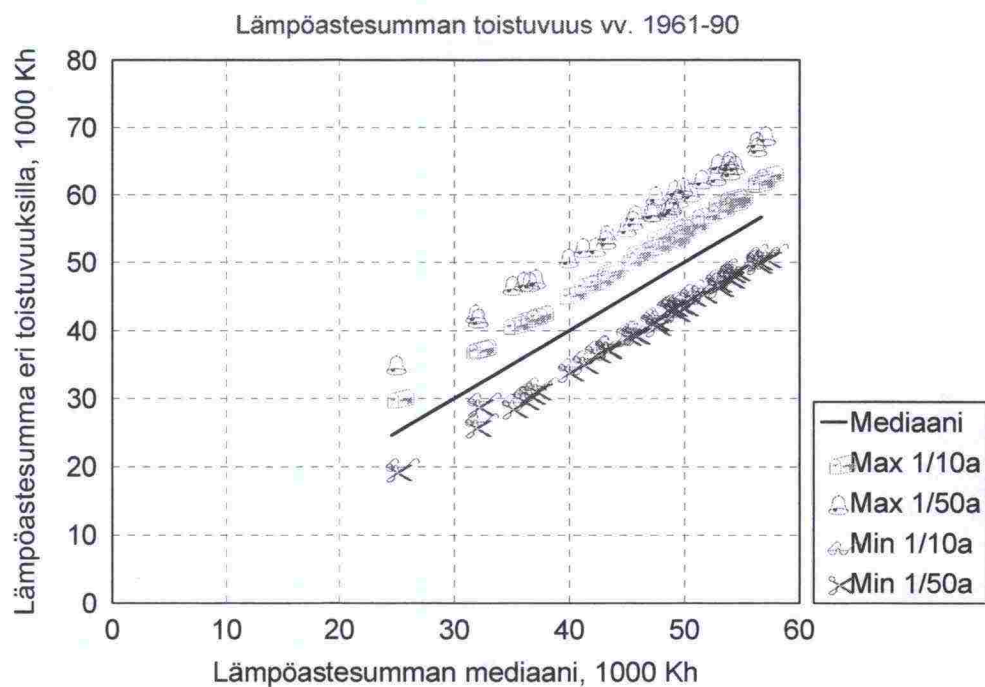
### **2.2.2 Ilman lämpöastesumman kehitys**

Paikallisesti roudan sulamisen aiheuttaa tienpinnan lämpeneminen sulamispisteen yläpuolelle. Tämä johtuu ilman lämpötilan noususta ja auringon säteilyn aiheuttamasta lämpenemisestä. Sulamista edistää myös lämmin sade ja tuuli.

Sulamisen syvyyttä voidaan arvioida pinnan lämpöastesumman perusteella samoin, kuin roudan syvyyttä pakkasmäärän perusteella. Pinnan lämpöastesumma määritetään ilman lämpöastesumman (kuva 2 ja 3) perusteella ottaen huomioon lisäksi pinnan ja ilman välinen lämpötilaero (kuva 5).. Ilman lämpöastesumman kertymää kalenteriajassa voidaan arvioida kuvan 4 mukaisesti. Tuloksena saadaan kohteen lämpöastesumman kertymä kuukausittain.

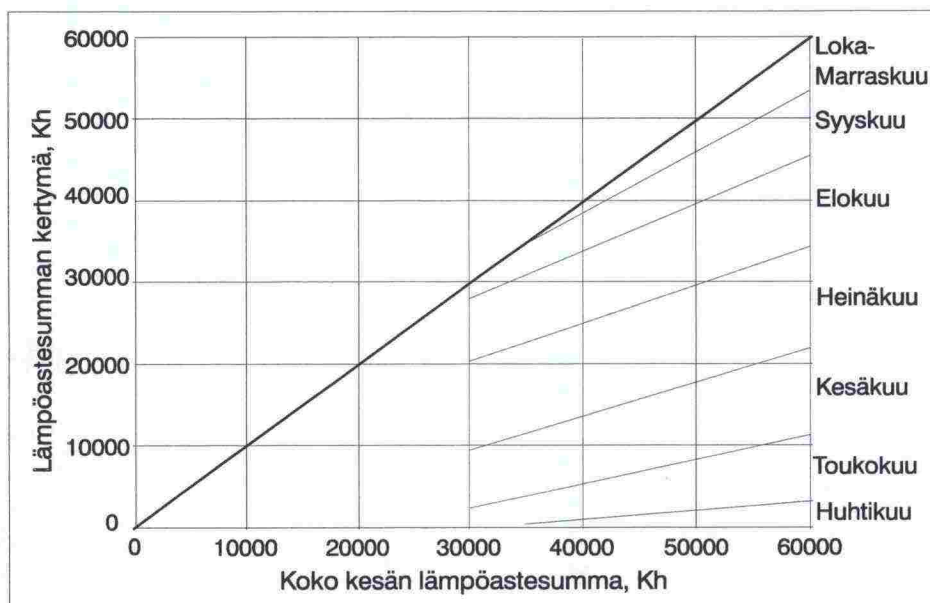


Kuva 2. Keskimääräinen ilman lämpöastesumma ilmastokaudella 1961-1990. (Ilmatieteen laitoksen tilastot, Kivikoski 1993).



Kuva 3. Ilman lämpöastesumman toistuvuus aseman lämpöastesumman mediaanin suhteen (Ilmatieteen laitoksen tilastot, Saarelainen 2001).





Kuva 4. Ilman lämpöastesumman kertymän arvioiminen (Saarelainen 2001).

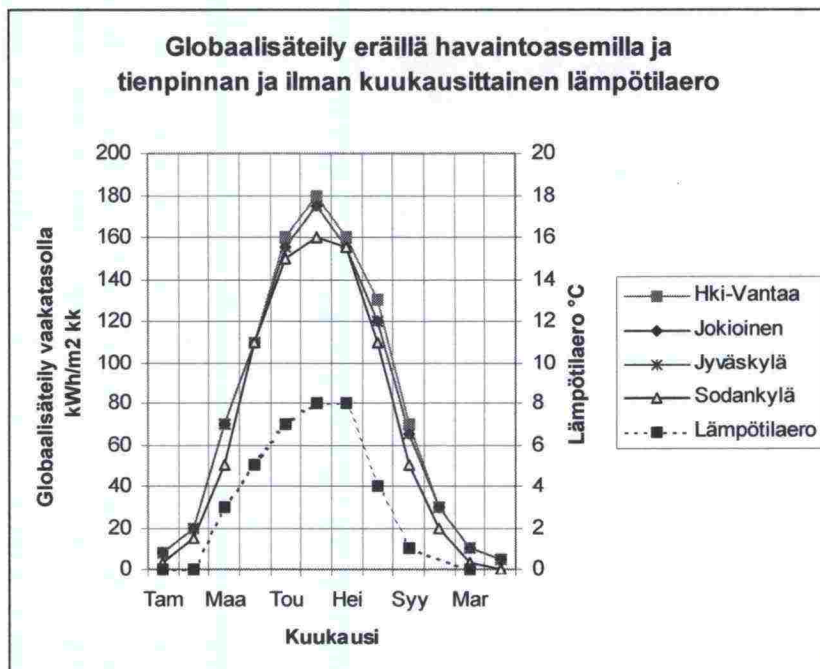
## 2.2.3 Sulamissyvyyden kehitys ajan mukaan pinnan lämpöastesumman kehityksen perusteella

### 2.2.3.1 Säteilyskorjaus

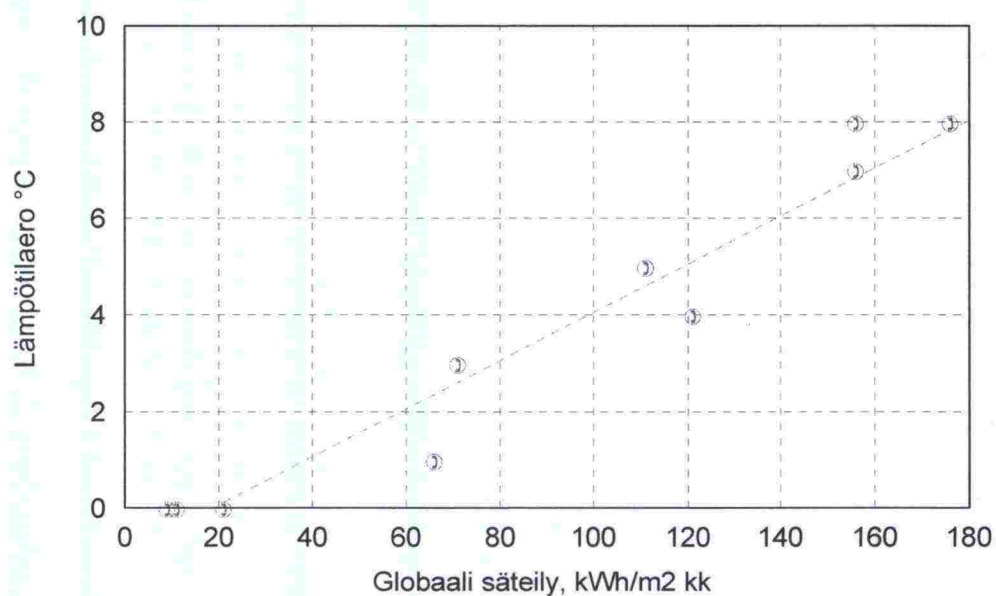
Tienpinnan lämpöastesumma arvioidaan lisäämällä ilman kuukausittaiseen lämpöastesummaan säteilyvaikutuksena kuvassa 5 esitetyn ko. kuukauden lämpötilaeron ja kuukauden tuntimäärän tulo. Pinnan lämpöastesumman kertymä lasketaan sulamiskauden alusta lähtien kuukausittain kasvavana summana.

Kuvan 5 mukaan on kuukausittainen säteilyenergia eri kuukausina eri paikkakunnilla Suomessa likimäärin vakio. Samoin oli tiesääasemien havaintojen perusteella tienpinnan ja ilman lämpötilaero likimäärin vakio eri puolilla Suomea. Näin säteilystä aiheutuva lämpöastesumman korjaus oli likimäärin vakio, vaikka ilman lämpötiloista laskettu lämpöastesumma eri alueiden kesken vaihteli. Lämpötilaeron ja kuukausittaisen säteilyn välillä havaittiin periaatteessa lineaarinen vuorosuhde (kuva 6).

Kuvan 6 mukaan tienpinnan ja ilman lämpötilaero on lineaarisessa vuorosuhteessa pinnalle tulevaan globaalisäteilyyn (auringonsäteilyn ja hajasäteilyn summa).



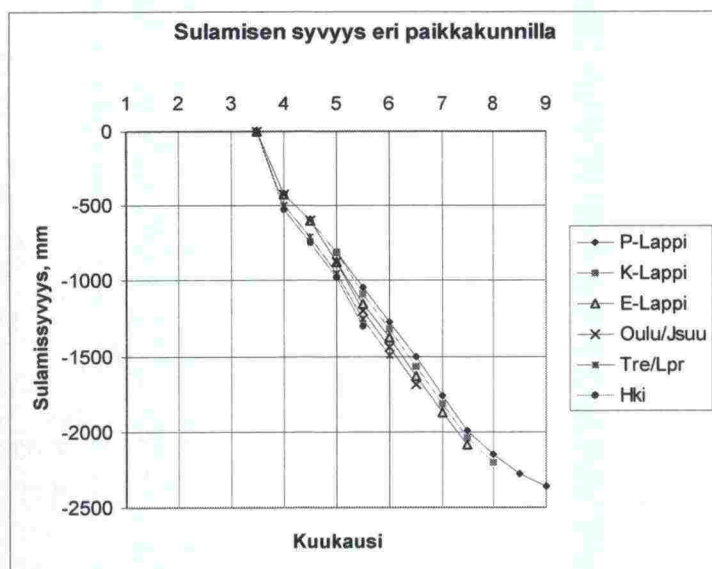
Kuva 5. Tienpinnan ja ilman lämpötilaero tiesääasemahavaintojen mukaan sekä kuukausittainen globaalisäteily eräillä havaintopaikoilla (Saarelainen 2001).



Kuva 6. Lämpötilaero vs. kuukausittainen energiasumma Jyväskylässä (Saarelainen 2001).

### 2.2.3.2 Sulamissyvyyden kehitys

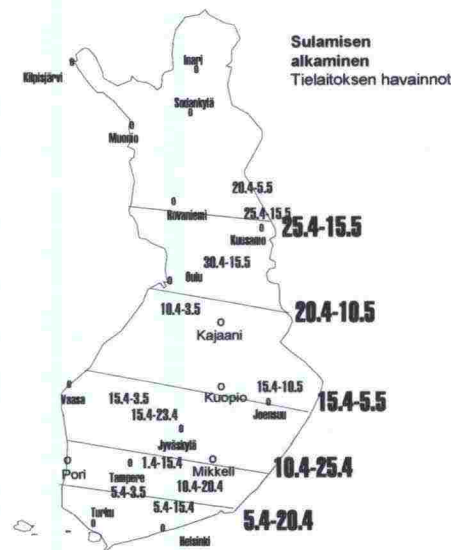
Sulamissyvyyden kehittyminen riippuu pinnan lämpötilan lisäksi myös sulavan maan rakenteesta ja materiaaliominaisuuksista. Arvio 0,5 metrin päällysrakenteen ja siltipohjamaan sulamissyvyydestä eri paikkakunnilla on esitetty kuvassa 7. Kun sulaminen tavoittaa edellisen talven roudan syvyyden, pohjamaa on sulanut kokonaan.



Kuva 7. Sulamissyvyyden keskimääräinen kehittyminen eräillä paikkakunnilla (Saarelainen 2001).

### 2.2.3.3 Sulamiskauden arviointi

Sulaminen alkaa, kun tien pinnan lämpötila nousee yli 0 °C. Luminen tienpinta on aina sulamispisteen alapuolella. Tien pinnan lämpötila seuraa viiveellä ilman lämpötilaa. Sulamisaikana pintaa lämmittää säteily, joka nostaa pintalämpötilan yli 0 °C, vaikka ilman lämpötila olisi pakkasella. Näätäsen (1998) selvityksessä todettiin, että tiemestaripiirien havaintopisteissä sulaminen oli raportoitu alkaneen 20-30 päivän rajoissa tarkastelluilla havaintopaikoilla (kuva 8). Vaihtelu pieneni merkittävästi, kun tarkasteltiin ajankohtia, jolloin havaittu sulamissyvyys oli merkittävä, esimerkiksi 200 mm. Sulamisen alkamisen vaihtelulle ei ollut saatavissa mitään erityistä selitystä. Siihen vaikuttavat mm. lumisateet, pilvisyyden vaihtelut, ilman lämpötilan vaihtelut ym. eri keväänä.

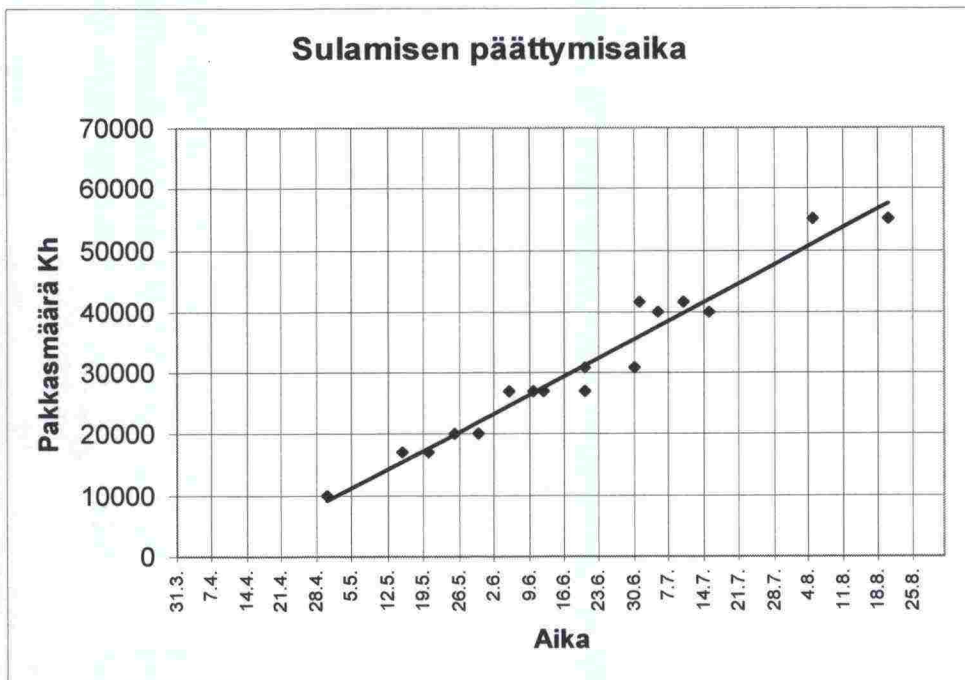


Kuva 8. Sulamisen 0,2 metrin syvyyden ajankohta Tielaitoksen routahavaintopaikoilla 1970-1990 (Näätänen 1998, sovelt.).

Sulamisen päättymisen havaittiin suhteellisen voimakkaasti riippuneen ilman lämpöastesumman kertymästä yksittäisellä havaintopaikalla. Lämpöastesumman kertymän vaihtelu ei merkittävästi riipu sulamisen alkamishetkestä, sillä tällöin lämpöastesumman kertymä on pieni. Ilman lämpöastesumman kertymä vaihtelee sulamiskaudella suhteellisen vähän, ja säteilystä johutuva lisäys on samoin vakaasti kehittyvä. Siten se ajankohta, jolloin sulaminen tavoittaa edellisen talven routarajan, määräytyy pääasiassa roudan syvyyden perusteella.

Kuva 9 laadittiin otaksumalla, että sulamissyvyys määräytyy kevään kuukausittaisen lämpöastesumman kertymän mukaan, kun otetaan huomioon seudun keskimääräinen ilman lämpötilakehitys ja säteilylisä. Sulamissyvyys määritettiin rakenteelle, jossa routivalla pohjamaalla oli 0,5 metrin routimaton päällysrakenne. Roudan syvyys määritettiin vastaavalle rakenteelle otaksumalla, että pakkasmäärä vastasi keskimääräistä sekä kerran 10 vuodessa toistuvaa ankarinta ja leudointa talvea.





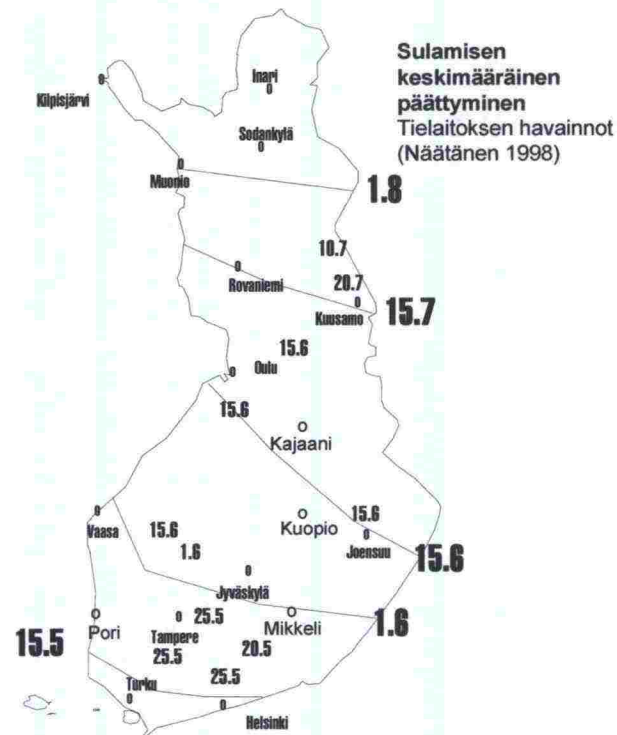
Kuva 9. Sulamisen päättymisaika edellisen talven pakkasmäärän mukaan.

Kuvassa 10 on esitetty kartalla Näätäsen (1998) selvityksen pohjalta tehty arvio keskimääräisestä sulamisen päättymisajankohdasta Tielaitoksen havaintopaikoilla. Nämä arvot vastaavat kohtuullisen hyvin kuvan 9 vuorosuhdetta.

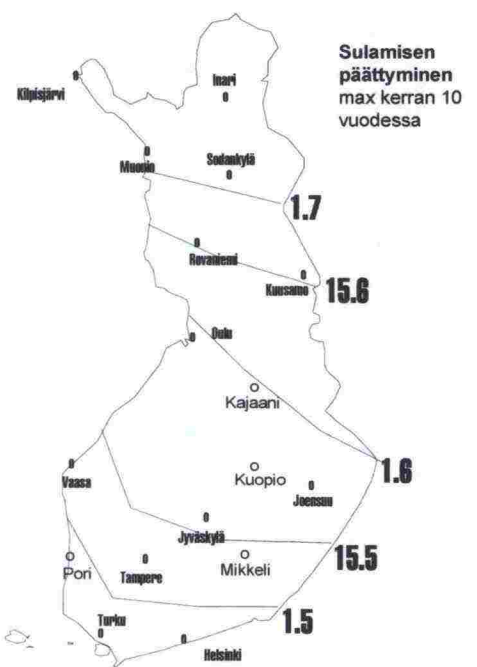
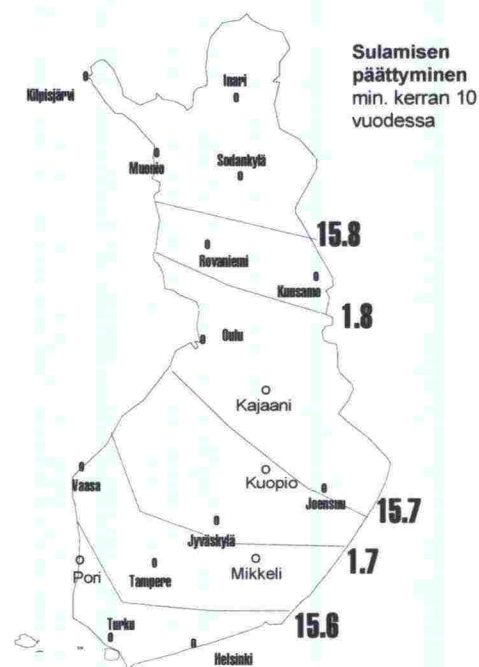
Kuvassa 11 on esitetty em. sulamisaikamallilla määritetyt sulamisen päättymisajankohdat kerran kymmenessä vuodessa toistuvan ankaran talven ja leudon talven jälkeen.

Kuvassa 12 on esitetty kaaviona sulamisen ajoittuminen.



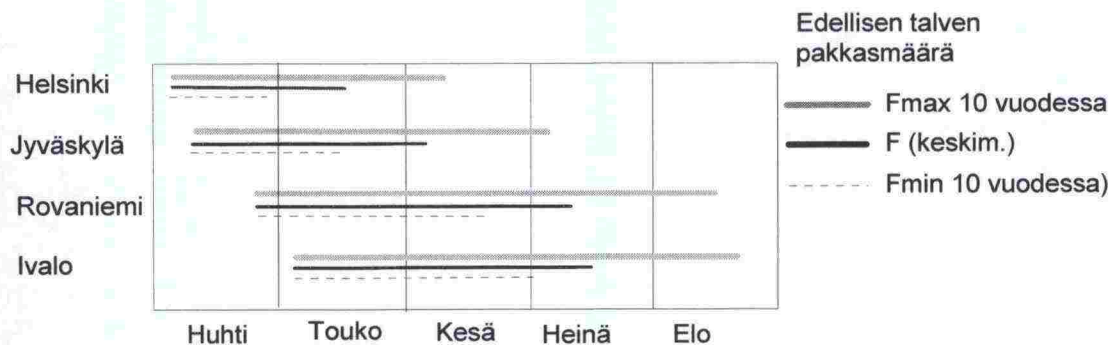


Kuva 10. Sulamisen keskimääräinen päättyminen (Näätänen 1998, mukailen).



Kuva 11. Sulamisen päättyminen edeltävän, kerran 10 vuodessa toistuvan ankaran ja leudon talven jälkeen.

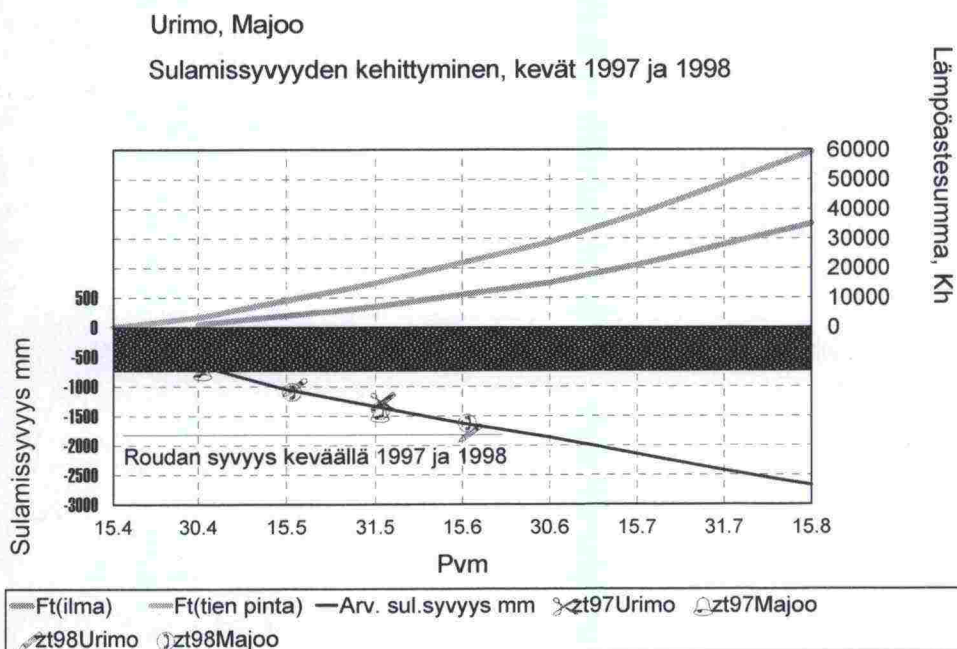
Kuvien 8-11 mukaan Etelä-Suomessa sulaminen alkoi huhtikuun alkupuolella ja päättyi aikajaksolla toukokuun alku - kesäkuun puoliväli. Lapissa vastaavasti sulaminen alkoi huhtikuun lopulla ja päättyi aikajaksolla heinäkuun alku - elokuun puoliväli.



Kuva 12. Sulamisaika routineessa pohjamaassa keskimäärin sekä vaihtelu max/min kerran 10 vuodessa eräillä paikkakunnilla (Saarelainen 2001).

#### 2.2.3.4 Toteutunut sulaminen

Esimerkki sulamisarviosta ja sulamisen havaitusta kehitymisestä Leppävirralla vv. 1997-98 on esitetty kuvassa 13. Sen mukaan sulamissyvyyden ennustettavuus on kohtalaisen hyvä, kun tien rakenne ja tienpinnan lämpötilakehitys ovat tiedossa.



Kuva 13. Leppävirta, Mt 5341. Sulamissyvyysarvio lämpöastesumman mukaan ja sulamishavainnot keväällä 1997 ja 1998 (Saarelainen 1998).

### 2.2.4 Roudan ja sulamisen syvyyden mittaus

Edellisen mukaan olisi tienpidon kannalta eduksi, jos roudan ja sulamisen syvyys olisi käytettävissä, kun kelirikoon liittyviä painorajoituspäätöksiä tehdään. Erityisen suurta on vaihtelu sulamisen alun määityksessä. Sulamisen päätyminen on selkeämmin edellisen talven pakkasmäärästä ja roudan syvyydestä riippuva, mutta senkin osalta mittaustulos on aina luotettavampi kuin arvio.

Roudan syvyyttä ja sulamisen syvyyttä voidaan mitata eri tavoin. Roudan syvyyden mittaus tehdään joko routaputkella tai lämpötilamittauksella, jolloin maan lämpötila mitataan ajoittain eri syvyyksille asennetuista antureista. Routaputkessa routaraja ja sulamisraja voidaan määrittää ja mitata käsin. Sähköinen lämpötilamittaus voidaan tehdä manuaalisesti paikalla, tai se voidaan liittää sähköiseen mittausjärjestelmään.

Minnesotassa on käytetty sähkönvastusmittaukseen perustuvaa anturiprofiilia, mikä soveltuu sähköiseen mittaukseen.

## 2.3 Johtopäätökset

Edellisen perusteella voidaan päätellä seuraavaa:

- Roudan ja sulamisen syvyyden arviointi on suhteellisen luotettavaa mitatun tienpinnan pakkasmäärän ja tienpinnan lämpöastesumman perusteella.
- Sulamisen alku olisi määritettävä tienpinnan lämpöastesumman kertymän tai sulamissyvyyden kenttämittauksen perusteella.
- Sulamisajan pituutta voidaan ennakolta arvioida toteutuneen pakkasmäärän perusteella lopputalvella. Sitä voidaan tarkemmin arvioida sulamisen aikana toteutuneen tienpinnan lämpöastesumman ja tilastoista määritetyn ennusteen perusteella.
- Sulamisen päätyminen voidaan arvioida mitatun lämpöastesumman perusteella tai määrittää routamittauksin.



### 3 RAKENNEKERROSTEN PAKSUUDEN/LAADUN ARVIOINTI JA MÄÄRITYS

#### 3.1 Tietotarve

Tien sulamisen ja kantavuuskehityksen arvioimiseksi tarvitaan tietoa sula-  
vasta tierakenteesta ja pohjamaasta. Perusotaksumana on tällöin, että ra-  
kenteessa on kantava ja routimaton yläosa, sen alla penger, joka voi olla  
routimattomia, rakennettuja kerroksia tai paikallista, routivaa materiaalia.  
Alemmalla tieverkolla tien rakenne ei useinkaan vastaa normeja. Tie on  
saatettu rakentaa kasaamalla tienpohjalle tieuralta ja sivuojista kaivumaata,  
ja vain ylin osa on tehty routimattomasta aineksesta.

Kevätpehmenemisen kannalta kantavuusluokkaan vaikuttava merkittävin  
ominaisuus on routivuus. Routiville materiaaleille on ominaista suuri hieno-  
ainespitoisuus ja jopa savipitoisuus, joista johtuen routivan materiaalin vesi-  
pitoisuus on suuri. Tähän vaikuttaa myös se, että routivan materiaalin kapil-  
laarinen nousu on suuri, yli 1 metri. Tällainen routiva materiaali on alavalla  
paikalla veden kyllästämä tai ainakin hyvin kostea. Routivuuden voimakkuut-  
ta kuvataan esimerkiksi routimiskertoimella, joka kuvaa routivan maan suh-  
teellista kykyä muodostaa huokosjäätä jäätyvään maahan. Jään sulaessa  
liika vesi pyrkii puristumaan pois maasta. Tällöin syntyy huokosveden yli-  
painetta, maan lujuus alenee, ja se muuttuu häiriintymisherkäksi. Dore  
(2000) esittää, että kevätpehmenemisen voimakkuutta voitaisiin kuvata in-  
deksiluvulla, joka olisi suoraan verrannollinen routivuuteen ja sulamisnopeu-  
teen. Saarelainen (1999) havaitsi, että koetiehavaintojen mukaan soratien  
minimikantavuus oli verrannollinen tienpinnan routanousuun sulamisen al-  
kaessa. Tarve kuvata routivuuden voimakkuutta edellyttää, että routivat  
maalajit (esimerkiksi siltti, savi, moreeni) luokitellaan ja kuvataan edelleen  
routivuuden voimakkuuden mukaan. Tällöin luokitusta voitaisiin tarkentaa  
savipitoisuuden ja kerrallisuuden mukaan.

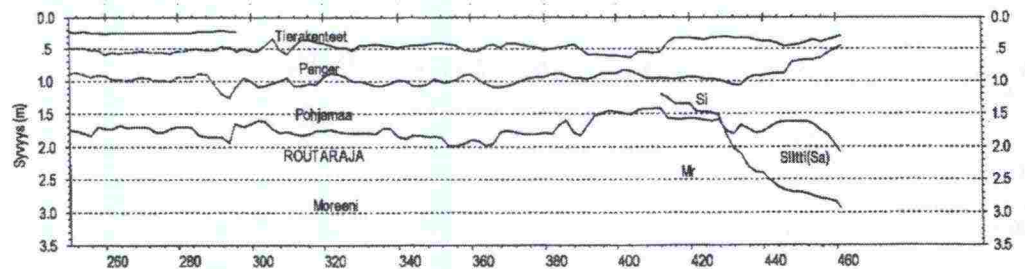
Routimattomien rakennekerrosten ja pohjamaan laatua sekä routivuutta voi-  
daan arvioida silmänvaraisesti, ja/tai se todeta materiaalitutkimuksilla.

#### 3.2 Arviointi maastossa

Maastotarkastuksessa kentällä voidaan likimäärin arvioida tiepenkereen kor-  
keuden perusteella rakenteen paksuutta. Sivuojasta tai muusta pohjamaan  
paljastumasta voidaan arvioida pohjamaan laatua. Kenttätarkastuksessa  
voidaan karkeasti hahmottaa pohjamaan laadun vaihtelua erottamalla kalli-  
oiset osuudet, kitkamaa- ja moreeniosuudet (kivisyys ym.), soistumat ja se-  
dimenttiosuudet. Samalla voidaan tehdä havaintoja pohjamaan kuivatustilas-  
ta ja linjan pintakuivatusoloista

### 3.3 Arviointi tutkimittausten perusteella

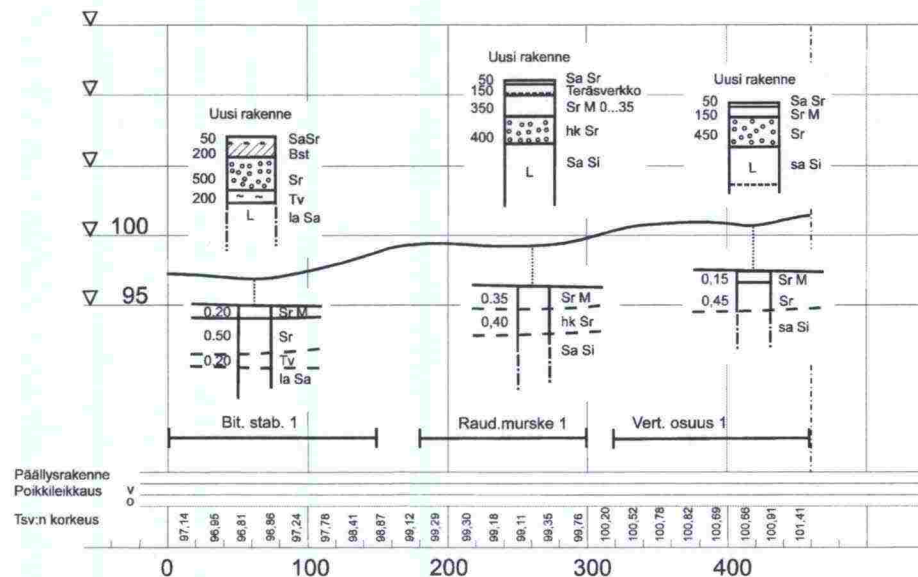
Loppupalvesta tehtävillä maatumittauksilla voidaan saada likimääräistä kuvaa rakenteen paksuuden vaihteluista ja roudan syvyyden vaihteluista. Myös kerrosmateriaalien ja pohjamaan laatua (tilavuusvesipitoisuutta) voidaan arvioida, jos paksuus on varmistettu joko muilla tutkimuksilla tai moniantennimittauksilla. Esimerkkinä mitatusta soratien rakenteesta Leppävirralla esitetään kuva 14.



Kuva 14. Urimo, plv.250-460. Maatutkaus huhtikuussa 1998 (Roadscanners Oy).

### 3.4 Määrittäminen koekuopasta

Koekuoppatutkimuksella voidaan selvittää tie paikallista rakennetta, kerros-paksuuksia ja kerrosmateriaalien laatua. Materiaalin rakeisuus ja vesipitoisuus määritetään laboratoriossa. Tutkimustuloksia voidaan käyttää mm. muiden mittaustulosten tulokinnassa ja arvioinnissa (kuva 15).



Kuva 15. Urimo. Tien pituusleikkaus koekuopuksilla (Saarelainen 1998). Pohjamaan laadun arviointi.



### 3.5 Arviointi karttatiedon ja pohjatutkimusten mukaan

Suomessa on nykyisin saatavissa peruskarttatieto (korkeussuhteet, vesiuomat ym.) sähköisenä paikkatietona (GIS-peruskarttatieto). Edelleen on geologiasta maaperäkarttatietoa saatavissa samoin paikkatietona. Näitä voidaan yhdistää tien paikkatietoihin. Samoin voidaan yhdistää pohjatutkimustietoa vanhoista pohjatutkimuksista sekä kenttäkartoituksen tietoa, jos tämä on tallennettu paikkatietona.

### 3.6 Landsat-skannerin käyttö maaperäselvityksissä

#### 3.6.1.1 Johdanto

Vuonna 1978 tutkimusohjelman "Luonnonolosuhteiden huomioonottaminen uusien asuinalueiden suunnittelussa" (NEKASU) yhteydessä tehtiin kokeilu, jossa haettiin tuntumaa Landsat-skannerin käyttökelpoisuuteen luonnonmaaston ominaisuuksien tulkinnassa.

#### 3.6.1.2 Kuvaus

Kuvaus tehtiin samanlaisella luotaimella kuin oli Landsat-satelliitissa. Siinä mitattiin säteilyn intensiteetti neljällä näkyvän valon taajuuskaistalla, ultraviolettikaistalla, infrapunakaistalla ja lämpösäteilykaistalla, yhteensä 7 kaistalla. Lento tehtiin aamuyöllä heinäkuussa. Skanneri oli sijoitettu ilmakuvauks-lentokoneeseen, joka lensi alueen yli noin kilometrin korkeudessa. Kohde-alue oli Malminkartanoon alue Länsi-Helsingissä.

#### 3.6.1.3 Maastotyöt

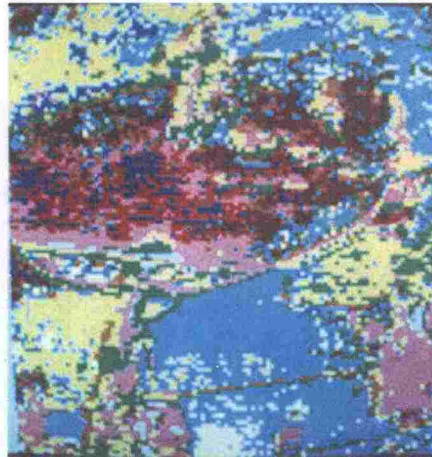
Maaperätulkintaa varten tehtiin alueelle noin 30 vertailualueita, noin 5 aluetta/tulkittava maalaji, kooltaan noin 50x50 m<sup>2</sup>. Vertailualueella määritettiin pohjamaan maalaji. Alueet valokuvattiin, ja niiden kasvillisuus kuvattiin yleispiirteisesti.

#### 3.6.1.4 Tulkinta

Skannaustulos oikaistiin karttaprojektiksi, jolloin data oli koordinaatteihin sidottua. Maalajitulkinta-avainten muodostamista varten määritettiin kutakin maalajin referenssialuetta koskeva mitatun säteilyn vektori (mitatun säteilyn intensiteetti kanavittain), ja kunkin vektorin alkion keskiarvo ja jakauma ko. maalajilla. Tämän jälkeen tulkittiin skannattu kuva maalajeiksi vertaamalla pisteittäin vertailuvektoreihin ja määrittämällä pisteen maalaji suurimman tulkitun todennäköisyyden mukaiseksi maalajiksi. Jos pisteen mitattu säteily ei ollut minkään vertailuvektorin mukainen esim. todennäköisyydellä alle 75 %,



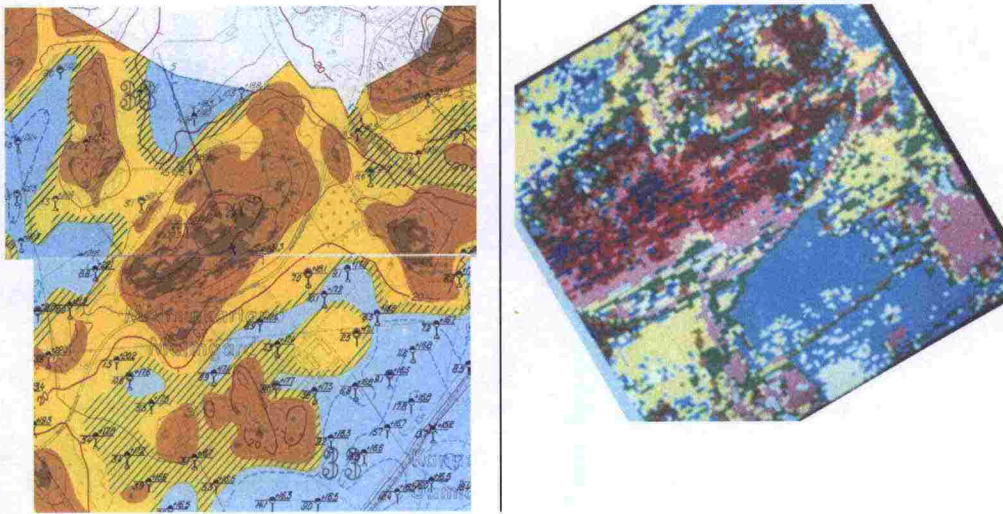
niin piste tulostettiin valkoisena. Yhden pikselin koko oli noin  $10 \times 10 \text{ m}^2$  (kuva 16).



Kuva 16. Landsat-skannauksen tulkittu maalajikartta Malmikartanosta. Malminkartanon mäki on keskellä ja Martinlaakson ratalinja lävistää alueen mäen poikki alhaalta ylös. Tulkitut maalajit: sininen - savi; keltainen - hiekka; vihreä - sora; ruskea - moreeni; punainen - kallio; vaaleanpunainen - kallio, ohut maapeite.

### 3.6.1.5 Vertailu Helsingin maaperäkartan kanssa

Kuvaustilanne ajoittui Malminkartanon alueen rakentamisen alkuaikoihin, jolloin Martinlaakson radan rakentaminen oli käynnissä ja eteläisen alueen rakentaminen oli alkamassa. Pohjoispuolinen peltoalue oli vielä kaavoittamatta. Näin oli luonnollista verrata skannausta maaperäkarttaa vuodelta 1972, ennen rakentamista. Kuvassa 17 on vasemmalla esitetty Malminkartanon mäen tienoo, ja oikealla tulkittu maalajikartta likimäärin samassa mittakaavassa ja asennossa. Kuvia vertaamalla voidaan havaita, että alueen maaperän suurmuodostumat, kuten kalliainen mäki ja kaakon puolella olevat pienet kukkulat sekä etelä- ja pohjoispuolella olevat savikot ja alavat hiekka-alueet erottuvat selvästi. Kalliomäen rinteille on tulkittu moreenia tai ohuen peitteistä kalliota. Rakennetuista pinnoista erottuu heikosti Martinlaakson rata ja muutama tiepengeri, kuten Malminkartanontie mäen eteläpuolella.



Kuva 17. Malminkartanon pintamaalajikartta vuodelta 1972 (vas) ja maalajikartta tulkittuna Landsat-keilauksesta (oik).

### 3.6.1.6 Tulosten arviointi

Keilauksen erottelukyky oli suhteellisen karkea (pikselikoko noin 100 m<sup>2</sup>). Tämä rajoitti yksityiskohtien, kuten teiden näkymistä. Kuitenkin kartalta on hahmotettavissa geologisia muotoja kuten mäki kalliioineen ja ohuine pintamaapeitteineen sekä merkittävät pehmeikköalueet.

Landsat-keilaimen mittaama säteily ei ollut peräisin suoraan maanpinnasta, maalajista, vaan siihen vaikutti mm. kasvillisuus, kosteussuhteet, lämpötila jne. Tulkintatulos oli kuitenkin yllättävän hyvä verrattuna kenttätyönä tehtyyn pintamaakarttaan (vertailukartan maalaji vastasi noin 1 metrin syvyydessä vallitsevaa maalajia). Tämä lienee johtunut toisaalta siitä, että säteilyvektori oli 7-komponenttinen, ja että tulkinnassa tehtiin todennäköisyssperusteisesti.

Kokeilussa voitiin saada kohtalaisen luotettavaa pintamaalajitietoa, kun tulkinta tehtiin riittävillä maastoreferensseillä tuettuna. Nykyisissä keilaimissa voidaan mitata myös tutkakanavalla, jolloin voidaan saada täsmällisempää tietoa pinnan kosteudesta. Matalalentokuvauksissa myös luotaimen erottelukyky on nykyisin merkittävästi parempi (pikselikoko esimerkiksi noin 1 metri).

### 3.6.1.7 Maapohjan routivuuden / sulamispehmenemisominaisuuksien tutkiminen kaukokartoitusmenetelmin

#### 3.6.1.7.1 Erotuskyky

Satelliittikuvissa erotuskyky on parhaimmillaan noin 10 m. Jos vastaava skanneri lennetään 1 km korkeudessa, on erotuskyky noin 0,1 m. Satelliittikuvien spatiaalinen tarkkuus on niin pieni, etteivät kaikki detaljit kuten tiet, pienet rakennukset ja rakenteet tms. välttämättä ole tulkittavissa. Näin ollen



satelliittikuvauksesta voidaan arvioida tielinjan ympäristön maasto-oloja, kun tulkittavan pikselin sijainti on tunnettu suhteessa tielinjaan (GIS-tieto).

#### 3.6.1.7.2 Maalajin routivuustulkinta

Edellisen perusteella on monikanavaluotauksesta tulkittavissa maalaji (H, K, Mr, Tv, Ka). Jos tulkintaa halutaan kohdistaa johonkin erityisominaisuuteen, kuten routivuuteen, on maalajiluokitusta täsmennettävä routivuutta paremmin kuvaavaksi. Tällöin routivuustulkinta voi tukeutua johonkin fysikaalisesti merkittävään ominaisuuteen kuten maan kosteuteen ja/tai lämpötilaan. Routivuustiedon perusteella voidaan erottaa routimisen kannalta merkityksettömät linjan osat (kalliot, ylävät sora- ja hiekka-alueet) sekä mahdollisesti voimakkaasti routivat osat (kosteat savi- ja silttialueet, moreenit).

#### 3.6.1.7.3 Kosteustulkinta

Kosteustieto sinällään tulkittuna sekä yhdistettynä maaston korkeussuhteisiin (topografiakartta) luovat mahdollisuuden tulkita maaston kuivatusoloja (imeytymis/purkautumisalue). Kuivatusolosuhdetieto yhdessä tielinjan tietojen kanssa kertoo kuivatustarpeesta.

#### 3.6.1.8 Arviointi maastossa

Rakennekerrosten paksuutta ja pohjamaan laatua voidaan arvioida sivuojasta. Samalla voidaan arvioida tiemaaston tulvariskiä, kuivatustarvetta ja vallitsevaa kuivatustilannetta.

#### 3.6.1.9 Määrittäminen näytetutkimuksin

Maastotutkimuksissa otetuista maanäytteistä tutkitaan rakeisuus ja vesipitoisuus. Myös hienoaineksen rakeisuus on syytä tutkia. Rakeisuuden perusteella voidaan arvioida routivuutta (routimisriskiä). Routanousukertoimen arviointi on näillä tiedoilla epätarkkaa. Pohjamaatietojen perusteella voidaan arvioida pohjamaan kantavuusluokkaa.

### 3.7 Johtopäätökset

Edellä esitetyn perusteella todetaan seuraavaa:

- Tierakenteen ja pohjamaan ominaisuuksia voidaan tutkia tavanomaisten tutkimusten (näytteenotto, kairaus, koekuoppa, maastotarkastus) ohella maastutkalla, joka tuottaa tietoa rakennekerrosten paksuudesta ja kerrosten kosteudesta sekä pudotuspainolaitteella, joka mittaa tien kantavuutta.



- Tielinjaa koskevaa perustietoa (maalaji, kosteustila) voidaan saada myös kaukokartoitusmenetelmällä käyttäen lähtöaineistona joko satelliittikuvausta tai lentoskannausta. Tuotetusta tiedosta yhdessä paikkatietomuo-toisen topografia- ja tielinjatiedon kanssa on mahdollista rajata kevätkan-tavuuden kannalta ongelmallisia ja ongelmattomia osuuksia, ja näin kes-kittää kenttätutkimuksia ja toimenpiteitä tarpeellisille tielinjan osille.
- Tavanomaisten tierakenteen ja pohjamaan tutkimusmenetelmien ohella tarvitaan nopeita, laaja-alaisia ja tulkittavia menetelmiä, joilla olisi mah-dollista luoda kuvaa tielinjan ja rakenteen sekä pohjamaan ominaisuuksista sulamisvaiheessa.

## 4 TIEN KANTAVUUSMITTAUKSET PPL

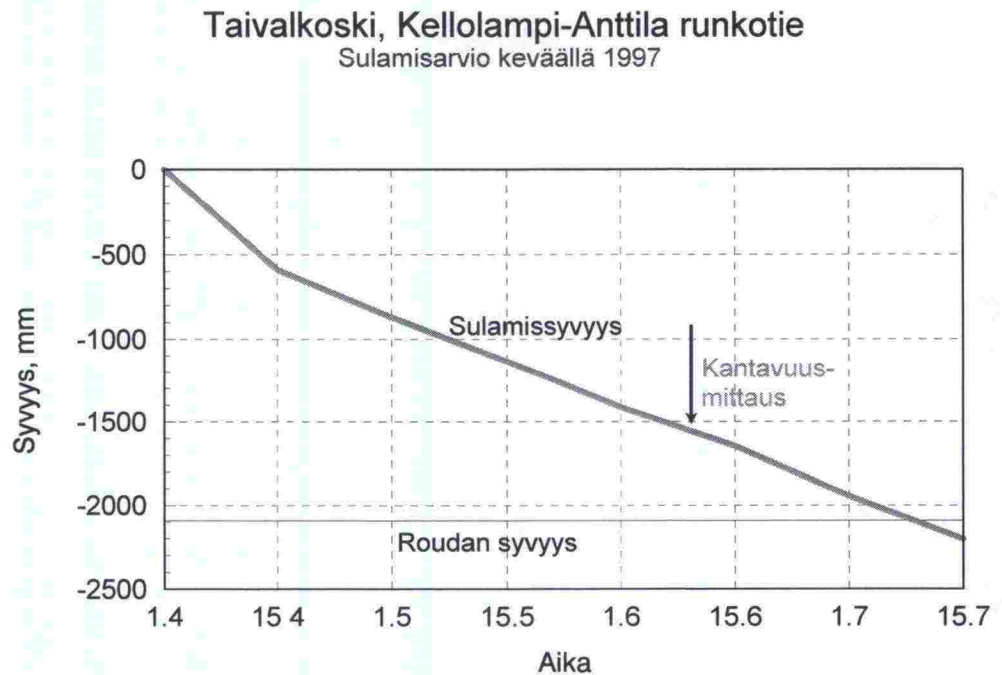
### 4.1 Mittausajankohta

Pudotuspainomittaukset tehdään ja tulostetaan menetelmäkuvausten mu-kaisesti.

Kevätkantavuusmittaukset on tehtävä silloin, kun sulaminen on edennyt vä-hintään 0,5 metriä routineeseen pohjamaahan. Roudan syvyys arvioidaan edellisen talven pakkasmäärän, ja jos se tai roudan mitattu syvyys ei ole tie-dossa, keskimääräisen pakkasmäärän mukaan.

Sulamisen syvyyden arviointi tehdään samoin ilman keskimääräisen lämpö-astesumman mukaan, jota korjataan säteilyn aiheuttamalla lämpövaikutuk-sella.

Esimerkki sulamisarviosta pinnan lämpöastesumman perusteella on esitetty kuvassa 15. Arvio keskimääräisestä roudan syvyydestä lumettomalla tiellä oli tuolloin noin 2,1 metriä. Jos vanhan tierakenteen paksuus oli noin 0,8 metriä, niin kantavuusmittaus olisi tehtävä aikavälillä 1.6 - 1.7. Tässä koh-teessa se tehtiin 12.6. Seuraavan kevään mittaus tehtiin 18.6 (vrt. kuva 18).



Kuva 18. Taivalkoski, Kellolampi-Anttila runkotie. Arvio roudan syvyydestä ja sulamisen etenemisestä keväällä 1997 (Saarelainen 1998).

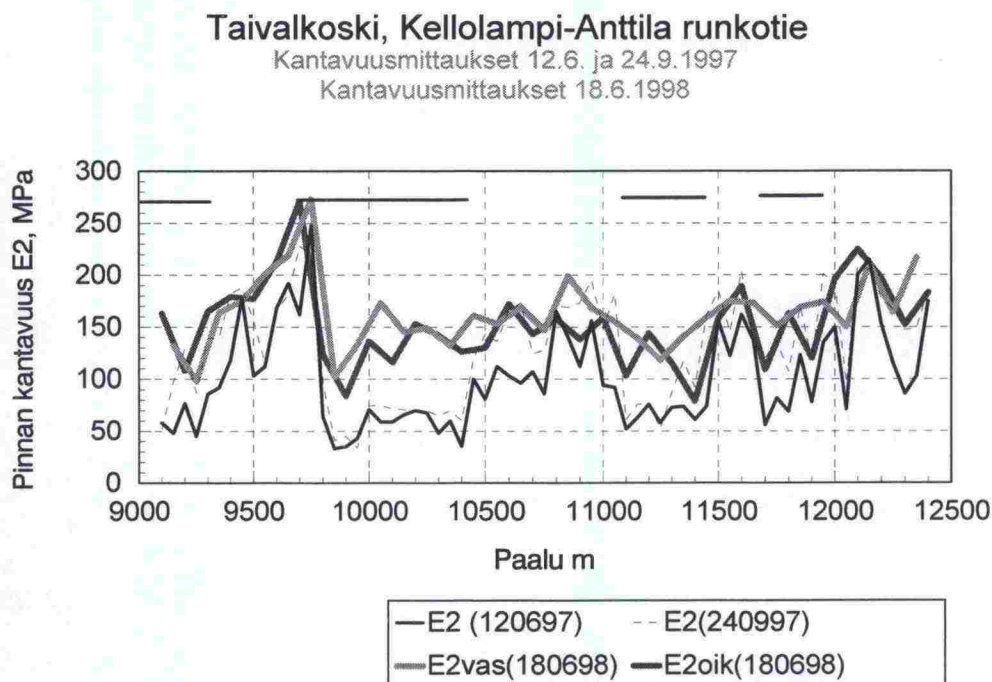
## 4.2 Pudotuspainomittaukset

Pudotuspainomittaukset tehdään sulamisvaiheessa ja sulamisen jälkeen syyskesällä.

Esimerkki on esitetty kuvassa 19. Sen mukaan oli erotettavissa seuraavanlaisia tieosuuksia:

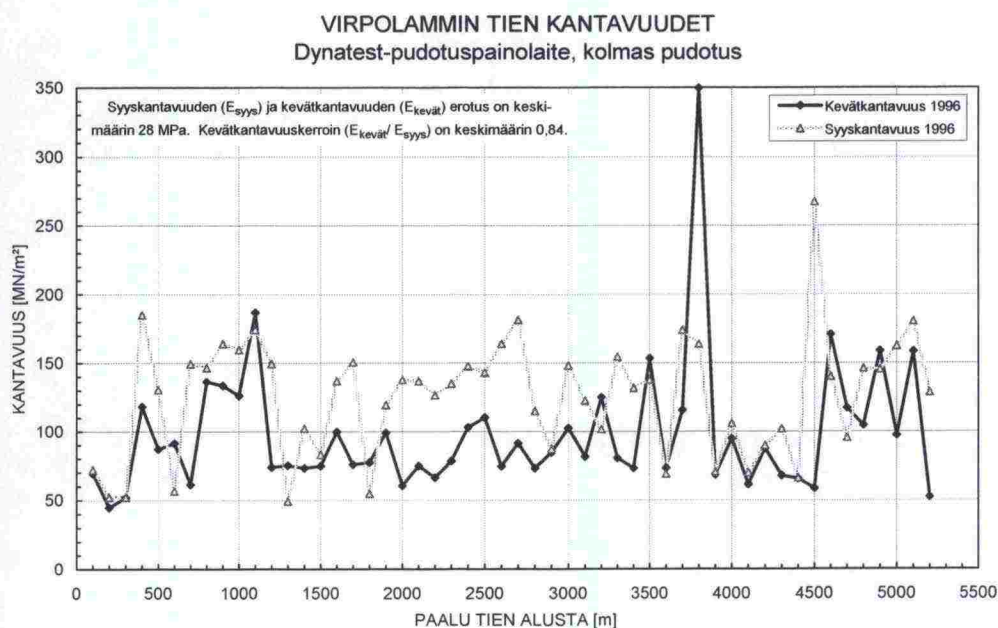
- kevätkantavuus hyvä, kesäkantavuus hyvä (routimaton, kantava Ka, Mr)
- kevätkantavuus alhainen, kesäkantavuus alhainen (routimaton, suo)
- kevätkantavuus alhainen, kesäkantavuus hyvä (routiva Mr)

Pohjamaa on syytä varmistaa mittaustulosten tulkinnan perusteeksi. Esimerkissä mittaus tehtiin 50 metrin välein. Maastokuviot olivat suurehkoja ja selviä, ja ongelmaosuuksien rajausta oli mahdollista. Mittaustulosten perusteella voitiin havaita, että korjauksella päästiin kohtuullisen hyvin kevätkantavuustavoitteeseen (yli 80 MPa).



Kuva 19. Runkotien Kellolampi-Anttila parantaminen paaluvälillä 9000-12500. Kevät- ja kesäkantavuusmittaukset 1997, ennen korjausta, ja kevätkantavuusmittaukset 1998, korjauksen jälkeen (Saarelainen 1998).

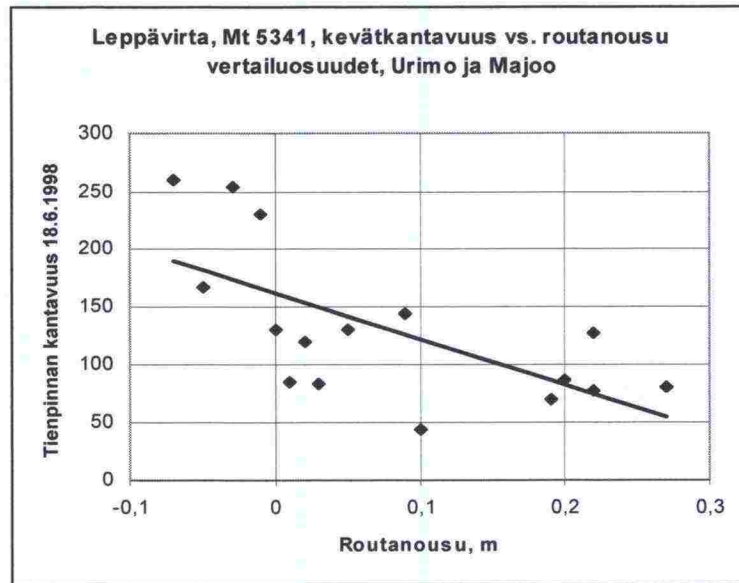
Toinen esimerkki on kuvassa 20. Siinä on havaittavissa sama systematiikka (routimaton/kantava, routimaton/huonosti kantava, routiva).



Kuva 20. Virpolampi, metsätie. Kevään ja syksyn kantavuusmittausten tulokset (Onninen 1998).



Kuvan 21 mukaan kantavuus on yleensä sitä alempi, mitä suurempi routanousu on poikkileikkauksessa. Poikkeuksen ovat routimattomat suot sekä pintakelirikon vaivaamat tieosat.



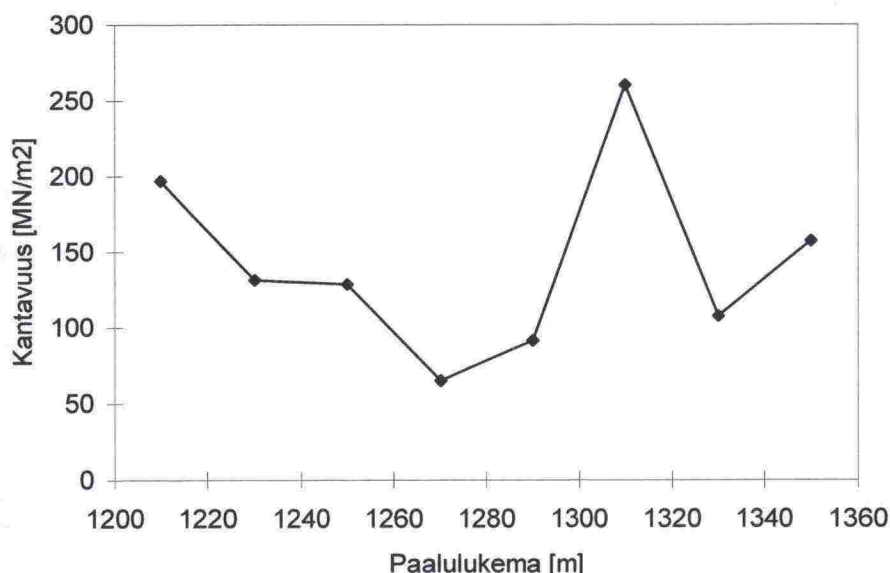
Kuva 21. Leppävirta, Mt. 5341. Vertailuosuuksien kantavuus sulamisvaiheessa 18.6.1998 edeltävän kevään suurimman routanousun suhteen (Saarelainen 1998).

Sulamissyvyyden kehittymistä kalenteriajassa voidaan edellä esitetyn mukaan arvioida ilmastotietojen perusteella. Sulamissyvyyden kehittymistä voidaan myös mitata lämpötilamittauksin tai routaputkella, joka on vastaavissa oloissa alle 100 km etäisyydellä tarkastelukohteesta. Pohjamaan vaikutusta kevätkantavuuteen voidaan arvioida edustavasti, kun sulaminen on edennyt vähintään 0,5 metriä pohjamaan rakenteen alla. Tämän arvioimiseksi tarvitaan tietoa rakenteen paksuudesta. Se saadaan esimerkiksi maatumittauksella.

#### 4.3 Kerrosmoduulien arviointi takaisinlaskennalla

Deformaatiolaskelmissa tarvitaan tietoa rakennekerrosten ja pohjamaan kerrospaksuuksista ja materiaali-moduuleista. Kerrospaksuuksia voidaan arvioida maastotarkastuksissa silmä-määräisesti, arvioida kairausten ja muiden tutkimusten avulla sekä määrittää pisteittäin koekuopasta. Moduulien arviointi maan luokitusominaisuuksien perusteella sitä vastoin on epävarmaa. Luotettavampi arvio saadaan tierakenteen kantavuusmittauksilla, joista voidaan mallintamalla määrittää kerros-materiaalien moduulit.

Seuraavassa esitetään takaisinlaskentaa Maantien 5341 koekohteessa Lepävirralla. Kuvassa 22 on esitetty ko. soratien osuudella tehdyn pudotuspainomittauksen perusteella arvioidut pintakantavuudet.



Kuva 22. Bitumistabilointi 1 (Urimo). Pudotuspainolaitteella 9.9.1996 mitattu kantavuus (Saarelainen 1998).

Tien kerrokset ja kerrospaksuudet määritettiin paalulla 1260 koekuoppatutkimuksella (vrt. kuva 15, pl. 60). Mitattua taipumasuppilaa vastaavan, laske-  
tun taipumasuppilon mukaan saatiin taulukon 2 moduulit eri kerroksille.

Taulukko 1. Bitumistabilointi 1 (Urimo) ennen stabilointia, syksyllä 1997. Koekuopasta paalulla 1260 mitatut rakennekerrospaksuudet ja niitä vastaavat E-moduulit määritettynä ModComp3-ohjelmalla. (Saarelainen 1998).

Kerros	Paksuus (m)	Moduuli (MN/m <sup>2</sup> )			
		Ka-haj	Minimi	Koekuopan kohdalla	Käytetty arvo
SrM	0,2	200	193	227	200
Sr	0,5	23	41	41	40
Tv 0,2m+Sa	1,3	20	12	12	12
kova pohja	∞	2000			

Rakennekerrosten paksuudet ja laatu selvitettiin koekuoppa- ja maanäytetutkimuksin ja alustava arvio moduulista tehtiin niiden perusteella. Koekuoppatutkimus tehtiin syksyllä sulassa maassa. Näin rakennekerrosten ja pohjamaan moduulit vastasivat esimerkissä sulaa tilaa. Sulaneen pohjamaan laatu ja moduuli arvio tehtiin pohjamaan määritetyn kantavuusluokan perusteella.

#### 4.4 Johtopäätökset

Edellisen perusteella todettiin seuraavaa:

- Kantavuuden aleneminen voitiin todeta kesä- ja kevätkantavuuden erotuksena, jonka perusteella voitiin rajata kelirikko-osuuksia.
- Kantavuuden alenemista havaittiin ensi sijassa osuuksilla, joilla oli ollut merkittävää routanousua (routaheittoja).
- Kevätkantavuuden mittaus tulisi tehdä tien sulamisaikana. Sulamisen aika voitiin arvioida sulamissyvyysarviointilla lämpöastesumman perusteella (vrt. luku 2).
- Sulaneen rakennekerroksen tai alusrakenteen kimmomoduulia arvioitiin pudotuspainomittauksista takaisinlaskentamenetelmillä. Tätä varten oli sulamissyvyyden oltava tiedossa joko mitattuna tai luotettavasti arvioituna.
- Kevätkantavuutta sulamisaikana voitiin likimäärin arvioida mitatun kesäkantavuuden perusteella, kun alusrakenteen kantavuutena käytettiin kantavuusluokituksen mukaista alusrakenteen maalajin kevätkantavuutta sekä rakennekerrosten kostean tilan kimmomoduuleja ja tunnettuja kerrospaksuuksia.

### 5 TIENPINNAN URAUTUMISEN ARVIOINTI JA MÄÄRITYS

#### 5.1 Tierakenteen ja pohjamaan resilienttimuodonmuutosten määrittäminen

Soratien vaurioituminen ilmenee pinnan pehmenemisenä, kuoppina, ja epätasaisuuksina. Tierakenteen pehmetessä sen kantavuus samalla alenee. Vaurioitumista voitaneen ennakoida pinnan pysyvän painumisen (urautumisen) avulla.

Muodonmuutosten laskentaa varten tarvitaan tiedot rakennekerrosten paksuuksista ja laadusta. Moduulit voidaan arvioida tai määrittää pudotuspainokokeista takaisinlaskennalla. Rakennemallin avulla määritetään standardipyöräkuorman aiheuttamat resilienttimuodonmuutokset rakennekerroksissa ja pohjamaassa eri pyöräkuormilla.

#### 5.2 Pysyvien muodonmuutosten arviointi

Tierakenteen ja pohjamaan pysyviä muodonmuutoksia voidaan arvioida urautumismalleilla, jotka kuvaavat rakennemateriaalin tai pohjamaan pysy-

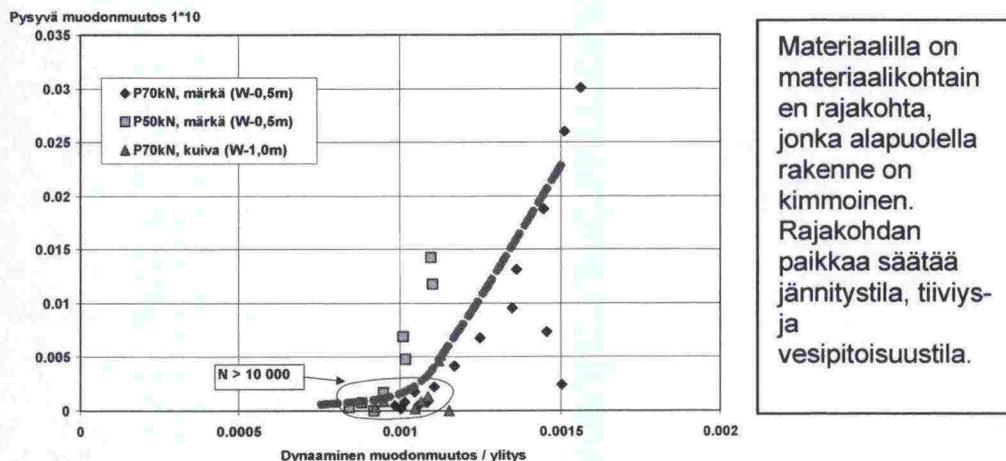


vän muodonmuutoksen kasvua ylityskertamäärän suhteen materiaalin pysyvän muodonmuutoksen kasvaessa.

Rakennekerrosten urautumismalleja on kokeellisesti määritetty HVS-kokeista. Pohjamaan vaurioitumismalleja on esitetty mm. viitteissä: Asphalt institute (1982), US Army (1987) ym. Metsätietutkimuksissa tehtyjen rasitus-kokeiden tulokset on esitetty ns. metsätiemallina (Onninen 1998).

Urautumismalleja on kirjallisuudessa esittänyt mm. Giroud & Noireau (1981). Esitystapa on yleensä sellainen, että esitetään tietyllä vauriotasolla (esimerkiksi 40 mm:n urasyvyys) standardipyöräkuorman aiheuttaman resilienttimuodonmuutoksen ja ylityskertamäärän suhde. Muita, pysyviin deformaatioihin perustuvia malleja on mm. viitteissä Bhosale & al. (2000) ja Powell et al. (1984).

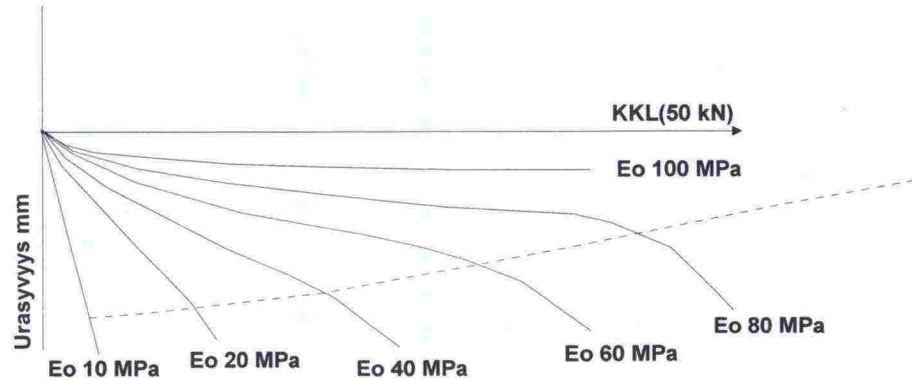
Kenttäkokeita tarvitaan urautumisen selvittämisessä esimerkiksi silloin, kun halutaan tehdä likimääräinen kuormituskestävyysmalli, jolla voidaan arvioida vauriotonta ylityskertamäärää, kun tien kantavuus on mitattu tai muutoin tiedossa. Tällöin on rakennetietojen lisäksi tunnettava sulaneen pohjamaan paksuus, mitattava kantavuus sekä urautumisen eteneminen kuormitusker-  
taluvun suhteen.



Kuva 23. Pysyvän muodonmuutoksen riippuvuus dynamisesta muodonmuutoksesta.

Perusotaksumana on, että urautuminen jatkuu tietyssä rakennemateriaalissa tai pohjamaassa suhteessa resilienttimuodonmuutokseen. Pienillä kuormituksilla tai muodonmuutoksilla syklinen deformatuminen on vaimenevaa. Kuormitusten kasvaessa saavutetaan rajatila, jonka jälkeen deformatuminen nopeus alkaa kasvaa, ja edelleen kasvaessa lopulta lähestytään murtotilaa (kuva 23). Tällainen ilmiö on mahdollinen vain myötopehmenevissä materiaaleissa, joita ovat erityisesti hienorakeiset ja routivat maat. Näissä syklisen muodonmuutoksen kehittyessä huokospaine nousee tilavuuden pienetessä, ja materiaalin lujuus (sekä muodonmuutosvastus eli jäykkyys) pienenee. Se, kuinka monta kuormitus sykliä materiaali kestää ennen plastista murtumista,

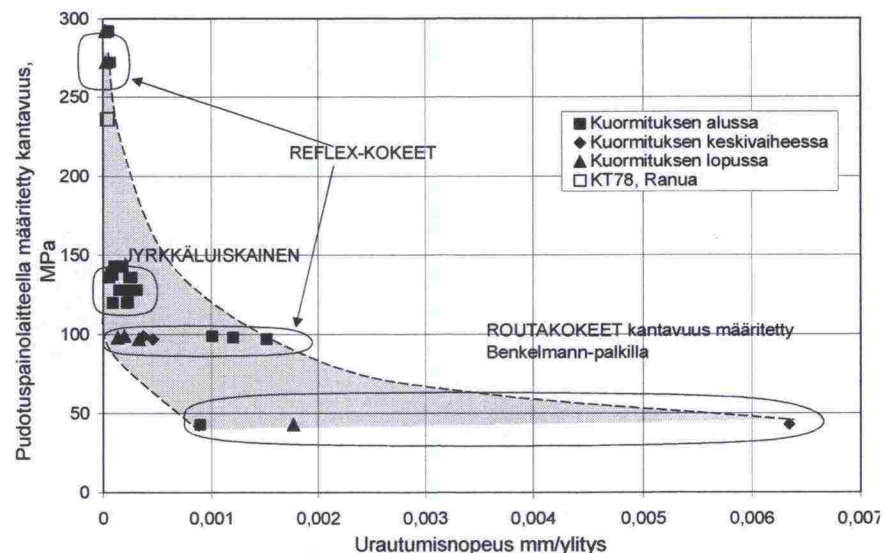
riippuu materiaalin ominaisuuksien ohella materiaaliin kohdistuvasta resiliienttimuodonmuutoksesta (jännityslisäyksestä, kuva 24).



Kuva 24. Tien urautumisen kehittyminen kuormituskertaluvun ja rakenteen kantavuuden mukaan syklisen rajakuormituksen periaatteella

### 5.3 Tien urautumisen mekanistinen ajatusketju höystettynä kokemuksilla

Mekaanisista kokeista tiedetään, että tien pintajäykkyyden (kantavuuden) ja pintaan syntyvien pysyvän urautumisen on epälineaarinen yhteys, kuva 25.



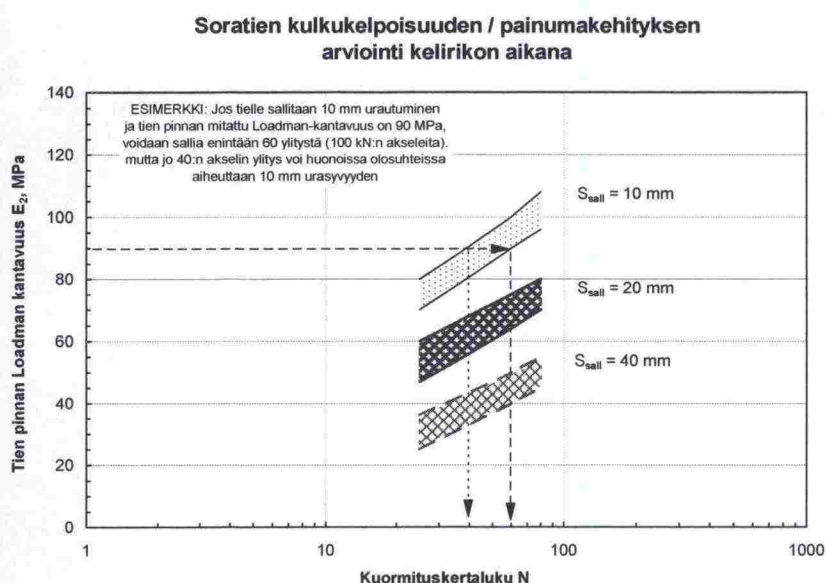
Kuva 25. Urautumisenopeuden kasvunopeus kiihtyy pintakantavuuden pienentyessä.

Koetuloksista voitiin todeta, että urautumisenopeus kasvoi voimakkaasti, kun tien pintakantavuus aleni tason noin 100 MPa alapuolelle. Tätä samaa havaintoa tukee metsäteille tehty urautumisen ennustemalli, kuva 26: urautu-

misnopeus likimain kaksinkertaistuu jokaista kantavuuden 20 MPa putoamista kohden.

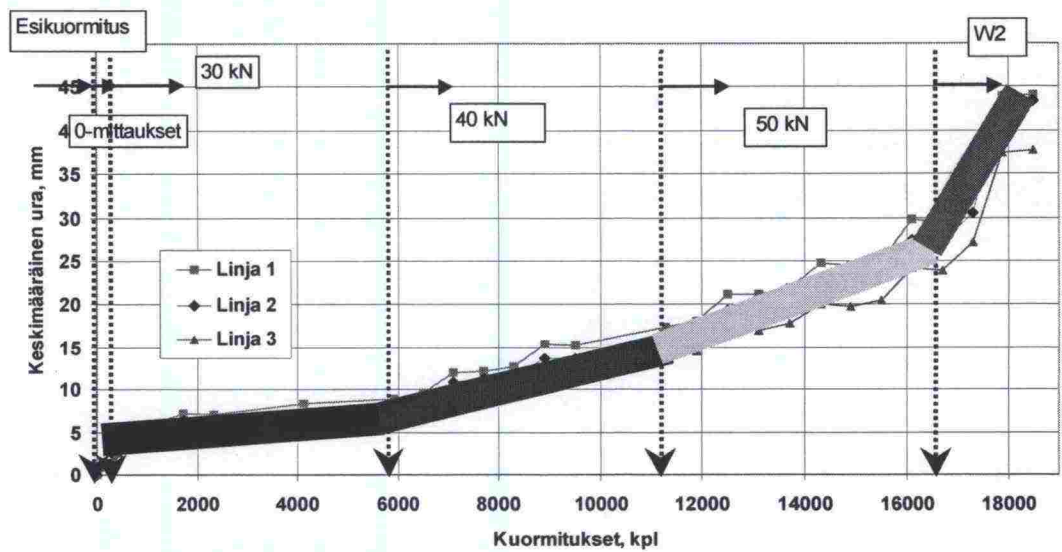
Kuva 26 on laadittu metsäteillä kelirikkoaikaan tehdyillä kuormituskokeilla, jolloin määritettiin tienpinnan kantavuus pudotuspainolaitteella ja urasyvyyden kehittyminen ylityskertojen kasvaessa, kun sulamassa olevalla tiellä ajettiin 10 tonnin akselipainoon kuormattua testiajoneuvoa (1 akseli, paripyörät). Tulosten perusteella määritettiin urasyvyys-kantavuus-vuorosuhde vastaten noin 30, 50 ja 80 ylityskertaa. Havaintojoukolle määritettiin maksimi-verhokäyrä (suurin urasyvyys tietyllä kantavuudella ja ylityskertamäärällä), josta arvioitiin 10, 20 ja 40 mm:n urasyvyyttä vastaava ylityskertamäärä (KKL) ja sitä vastaava kantavuusmoduuli. Tällä periaatteella laadittiin kuvan 26 käyrät.

Se mikä urautumisen nopeus kulloinkin on, riippuu kuormituksen suuruudesta eli tien rakenteisiin ja pohjamaahan kohdistuvista jännityksistä ja rakennekerrosten kapasiteetista. Kuvasta 27 on nähtävissä kuinka kuormituksen suuruuden kasvu nopeuttaa urautumisnopeutta. Edelleen havaitaan kuinka radikaali merkitys rakenteiden kosteuden lisääntymisellä olla urautumisnopeuden kasvuun.



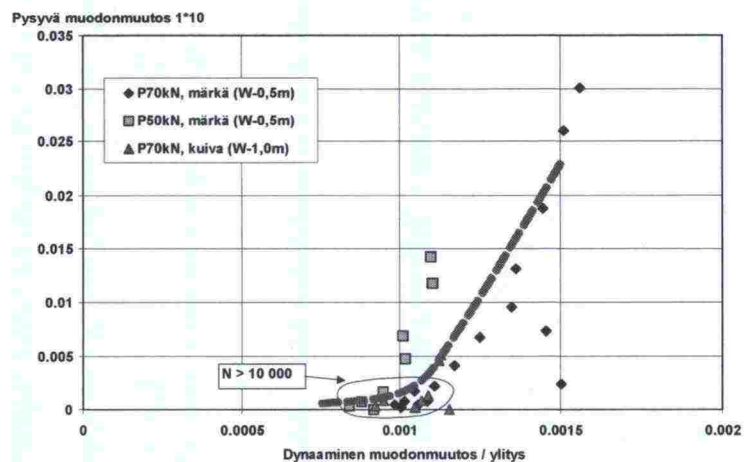
Kuva 26. Metsäautoteille laadittu tien pintakantavuuden (Loadman-mittauksista määritetty), urautumisen ja kuormituskertaluvun välinen yhteys.





Kuva 27. Urautumisnopeus kasvaa kuorman (pyöräkuorman kasvaessa: musta - sini - keltainen) ja vesipitoisuuden kasvaessa (keltainen -punainen).

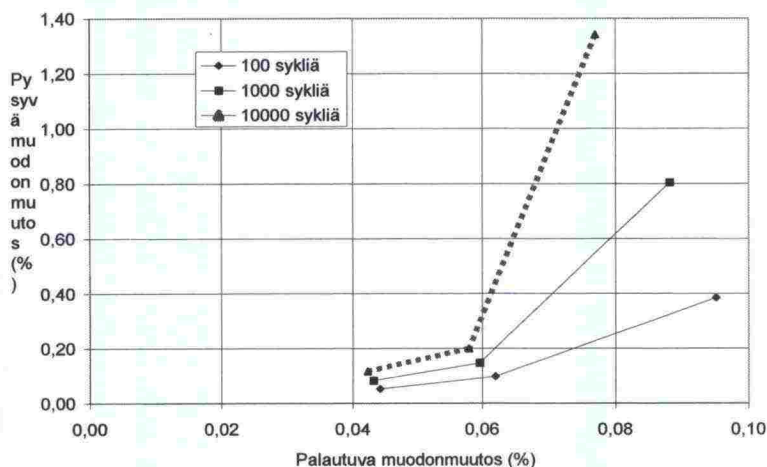
Se, syntyykö materiaalissa pysyviä muodonmuutoksia riippuu siitä ylitetäänkö sen kimmoinen tila - eli viedäänkö jännitykset sen "myötörajan" yli, kuva 28.



Materiaalilla on materiaalikohtainen rajakohta, jonka alapuolella rakenne on kimmoinen, Rajakohdan paikkaa säättää jännitystila, tiiviys- ja vesipitoisuustila.

Kuva 28. Materiaalissa syntyvät pysyvät muodonmuutokset ovat materiaalista ja sen tilasta riippuvia. Täysmittakaavan havainto.

Kuvan 28 mukaisen materiaalikohtaisen taitepisteen olemassaolo on havaittavissa myös kolmiakselikokeissa laboratoriossa (kuva 29). Kyseessä ei ole kuvan 28 materiaali.



Kuva 29. Laboratoriokokeen havainto (3 -akselikoe).

Materiaalimallien luonnetta voidaan kuvata yksinkertaistaen soveltamalla kuormituksen suhteen niin sanottua  $n:n$  potenssin sääntöä (2).

$$E = \left( \frac{P_x}{P_{st}} \right)^n \quad (2)$$

missä  $E$  kuormituksen ekvivalenttikerroin urautumisen suhteen

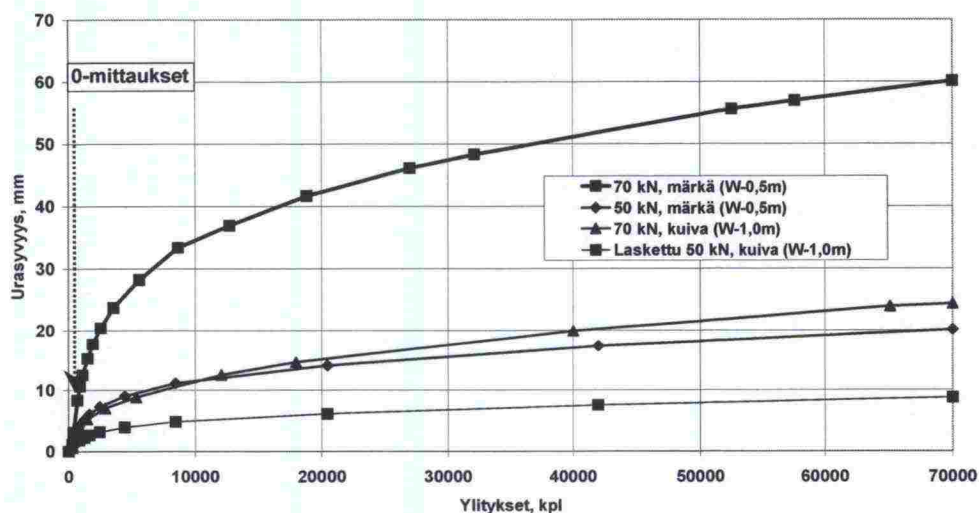
$P_x$  tarkasteltava akselikuorma

$n$  eksponentti ( $n = 4$  yleensä)

$P_{st}$  standardiakselikuorma

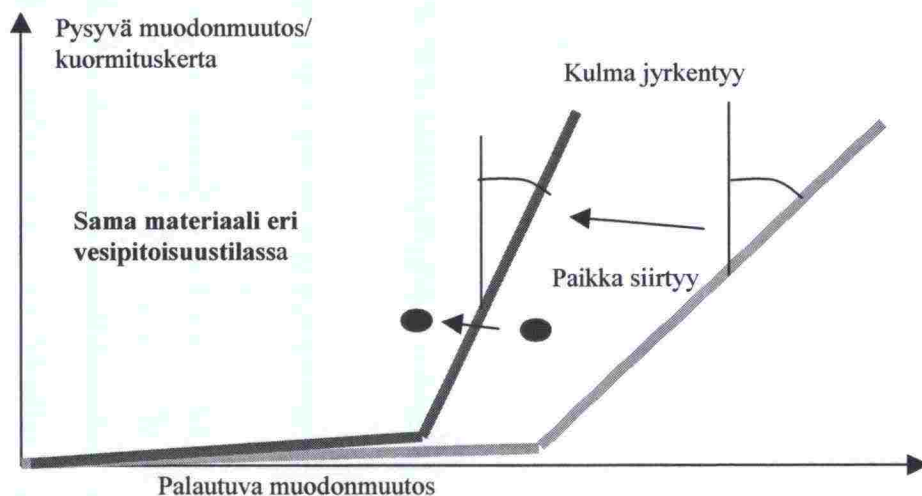
Kelirikkoteillä, jossa kyseessä on suuret urat suhteellisen pienillä kuormituskerroilla, eksponentti voi olla jopa 8...9. Toisin sanoen jo pienenkin pyöräkuorman rajoittaminen lisää merkittävästi sallittavia pyörämääriä. Esimerkiksi, jos pyöräkohtainen painorajoitus lasketaan arvosta 50 kN arvoon 40 kN, saman urautumisen aikaansaama kuormitus määrä nousee arvosta  $N = 10$  arvoon  $N = 60$ . Eksponenttimallin sijasta materiaalimallina urautumistarkasteleissa voidaan käyttää kuvien 28 ja 29 mukaisia epäjatkuvia materiaalimalleja.

Mikäli materiaalia ei viedä murtotilaan asti vaan pysytään nk. shake down -rajan alapuolella, urautuminen hidastuu kuormitusten kasvaessa (kuva 30).



Kuva 30. Urautuminen on aluksi nopeata, mutta hidastuu, jos rasisutket ei-vät ole liian lähellä materiaalin murtorajatilaa eli ollaan 'shake down' -raja-arvon alapuolella.

Runkokelirikko syntyy siitä, että kevään (ja syksyn) aikana lisääntyvä kosteus siirtää materiaalin kimmoisen käyttäytymisen pistettä pienemmän suhteelliseen muodonmuutokseen suuntaan (pienemmillä leikkausjännityksillä tapahtuvaksi) ja samalla lisää pysyvien muodonmuutosten syntymisnopeutta. Yksinkertaistetulla materiaalimallilla ilmiö on kuvattavissa kuvana 31.



Kuva 31. Tierakenteen ja pohjamaan yksinkertaistetun materiaalimallin muuttuminen kastumisen seurauksena.

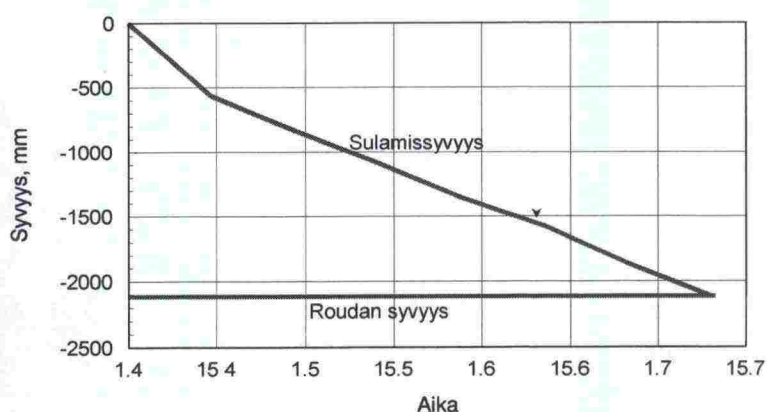
Syynä materiaalisen tilan muuttumiseen on primäärisesti veden lisääntyminen pohjamaassa ja rakennekerroksissa

Routineessa maassa on ylimäärä vettä sen tilavuuteen nähden. Sulaessaan jäälinssistä vapautuva vesi kulkeutuu ylöspäin ja sivullepäin, koska sulavan



ja sulaneen maan huokoiisiin ei tätä ylimäärävetä mahdu ja alaspäin vettä ei kulje, ennen kuin routa on kokonaan sulanut. Sulamisvaiheeseen yhdistyy ympäristön lumien samanaikainen sulaminen.

Ajankohtana, jossa koko rakenne on sulanut, kerrosten pehmeys tien rungon osalta on maksimissaan ja samalla ohutrakenteisen tien kantavuus on minimissään, kuva 32.



Kuva 32. Sekä roudan syvyys että sulamisen nopeus on suhteellisen tarkasti määritettävissä ilmastotietoihin perustuen. Siten kelirikon päättymisen on myös ennustettavissa ja jatkuvasti tarkentuvasti, mikäli kevään lämpötilamittauksia seurataan.

Pehmeys ja urautumisriski jatkuvat muutaman viikon ajan, kunnes ylimääräisen veden poistuminen rakenteesta on päässyt kunnolla tapahtumaan näissä rakennekerroksissa. Ajankohta, jolloin tie on kokonaisuudessaan sula, on suhteellisen tarkasti laskettavissa edellisen talven ilmastotiedoista, kuten edellä on todettu. Siten raskaan liikenteen aiheuttama ylisuuri urautuminen on kohtuudella arvioitavissa kunhan tunnetaan

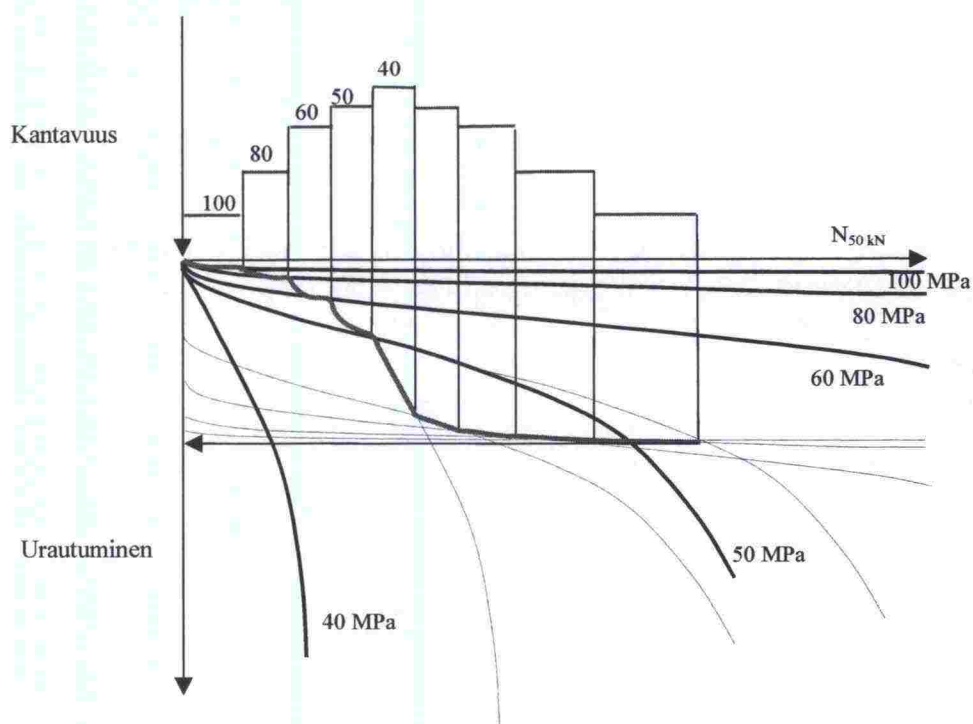
- edellisen talven pakkasmäärän kertymä (ilmastotiedoista)
- sulamisen aikaansaavan tien pinnan lämpöastekertymä (ilman lämpötila, säteilylämpö sijaintikohtaisesti)
- tien routimaton rakennepaksuus (maatutkalla tai paikallistuntemuksen perusteella)
- yleistetyt materiaalmallit (luokitellut materiaalien perusmallit)
- raskaan liikenteen akselikuormat kelirikkokaudella

Vaihtoehtoisesti kelirikon vaikutuksia voidaan arvioida pintakantavuuden perusteella (vrt. kuva 26). Tämä puolestaan edellyttää suhteellisen tiheää kantavuusmittausta tai inventoinnin perusteella paikannetuille kelirikkokohteille kohdistetun kantavuusmittaustiedon hankintaa.

Rakennekerrosten tila alkaa parantua noin viikon kuluttua sulamisen päättymisestä. Tämän kuivumisen seurauksena tien kantavuus asteittain palau-

tuu takaisin kesätilaan. Kuivumisen nopeuden arvioiminen edellyttää runsaasti tietoa ja laadukasta paikallisten olosuhteiden tuntemista.

Tuntemalla materiaalin ja sitä kautta rakenteen kuormitus-urautumissuhde kelirikkovaiheen aikana voidaan urautumisen suuruus kumulatiivisesti laskea oheisen kuvan 33 mukaisesti (graafinen menettely esitetty).



Kuva 33. Periaatekuva siitä, kuinka urautumisen kehittyminen on laskennallisesti kumuloitavissa, kun tien pintakantavuus sekä tiemateriaalin urautumisväsymismalli tunnetaan. Esimerkin materiaalilla 'shake down' -raja-arvo on noin 60 MPa.

Käyttäen kuvan 33 mukaisia materiaalimalleja voidaan standardiakselin sallitun ylityskerran sijaan tarkastella millä akselikuorman ja kuormitusmäärän tulolla voidaan pysyä sallitun kelirikkoaikaisen urautumisen alapuolella. Toisin sanoen asettaa tiekohtainen painorajoitus.

## 5.4 Johtopäätökset

Vähäliikenteisten teiden mitoituksessa päällysteen/tienpinnan taipumalla ja vetojännityksellä ei ole merkitystä. Tienpidon ja kestoiän kannalta enemmän merkitystä on rakennekerroksissa ja pohjamaassa syntyvillä, pysyvillä deformaatioilla, jotka näkyvät tien pinnassa urautumisena ja vaurioina.

- Veden kyllästämän alusrakenteen deformaatiot ovat leikkausmuodonmuutoksia, joiden seurauksena tien pinta urautuu ja pohjamaassa syntyy sivusiirtymää (levenemistä). Myös jyrkkäluiskaisessa päällysrakenteessa syntyy sivusiirtymää.
- Alusrakenteen ohella myös heikkolaatuisissa rakennekerroksissa voi syntyä urautumista lisäävää pysyvää deformaatiota.
- Rakennekerrosten kantavuuden pienetessä rakennekerrosten ja alusrakenteen deformaatiot kasvavat. Näin jäykkyyden aleneminen johtaa suurempiin vaurioihin.
- Relienttimuodonmuutosten kasvaessa pysyvät muodonmuutokset kasvavat. Näyttää siltä, että tietyn rajamuodonmuutoksen jälkeen pysyvät muodonmuutokset alkavat voimakkaasti kasvaa, ja kuormitusten lisääminen edelleen johtaa käytännössä murtotilaan.
- Painorajoituksella tulisi tierakenteen muodonmuutokset alentaa em. kriittisen rajan alapuolelle.
- Kun tien muodonmuutokset ovat em. rajan yläpuolella, tierakenteen kyky kestää lisäliikennettä on erittäin rajoitettu.
- Urautumisen mekanismi ei vielä ole riittävästi tunnettu, että sen laskennallinen mallintaminen olisi kaikissa olosuhteissa luotettavaa. Urautumismalleja on kuitenkin laadittu täysmittakaavan kuormitusten perusteella. Näiden avulla on laadittavissa kuormituskestävyysmalleja, joilla voidaan vähäliikenteisen tien kuormituskestävyyttä keli-rikkoaikana arvioida painorajoituksen tarpeen ja suuruuden määrittämiseksi sekä tierakenteen korjauksen mitoittamiseksi. Mallien avulla voidaan myös täsmällisemmin määrittää erilaisten uusien rakennekonseptien ja -materiaalien mitoitus.



## 6 TIEN KUORMITUKSET SULAMISAIKANÄ

### 6.1 Tierekisteri

Mitattuja tietoja soratien liikennemääristä ja erityisesti kuormituskertaluvusta voi olla tierekisterissä. Tällöin on kyse ns. perusliikenteestä. Vähäliikenteisen tien tapauksessa merkittävä maanajo tai puutavaranoajo on poikkeustilanne. Jos soratie palvelee merkittävää talousmetsäaluetta, niin sen kautta voi ohjautua jatkuvaa kuljetusta, josta osa voi osua kelirikkoajaan. Menetelmää tällaisen, toistuvan puutavarakuljetuksen arvioimiselle ei ole käytössä.

### 6.2 Erillinen kuljetussuorite

Tavanomaisempi tehtävä olemassa olevan tien tapauksessa on arvioida, voidaanko suunniteltu kuljetussuorite toteuttaa kelirikossa olevan tien kautta. Tällöin kuljetusta käsitellään satunnaisena tapahtumana tien perusliikenteen lisäksi. Nykyisissä ohjeissa ei ole arviointi- tai päätöksentekomalleja tällaiselle tilanteelle. Tavanomainen ratkaisu lienee painorajoitus tai kuljetuksen salliminen, kun kuljetus on vähäinen.

### 6.3 Johtopäätökset

- Vähäliikenteisten teiden kelirikkoarvioinnissa tarvitaan tietoa niiden kuormituskertaluvusta.
- Tulisi laatia menettely tieosan perusliikenteen ja erityisesti kuormituskertaluvun arviointia varten.
- Tien kuormituskestävyyden ja perusliikenteen perusteella voidaan arvioida, onko painorajoitus tarpeen lisäliikenteen rajoittamiseksi ja luvanvaraistamiseksi.

## 7 PAINORAJOITUSKÄYTÄNTÖ

### 7.1 Minnesotan malli

Painorajoitus on paikallisesti ennalta määritetty tieosan ominaisuus kelirikkoaikana.

Ajoitus määritetään routa/sulamistilanteen mukaan (Van Deusen et al. 1998)

- lämpöastesumma lasketaan käyttäen vertailulämpötilana  $-1,5 \dots -4,4$  °C
- painorajoitus asetetaan, kun lämpöastesumman kertymä on 12 °Cd (288 Kh).
- painorajoitusaika  $D_t$  voidaan arvioida pakkasmäärän ja mitatun roudan syvyyden perusteella (kaava (3)).
- painorajoitus poistetaan, kun routa on sulanut, ja kun rakenteen kantavuus on palautunut.

$$D_t = 0,15 + 0,01 \cdot F + 19,1 \cdot z_f - 12090 \frac{z_f}{F} \quad (3)$$

missä

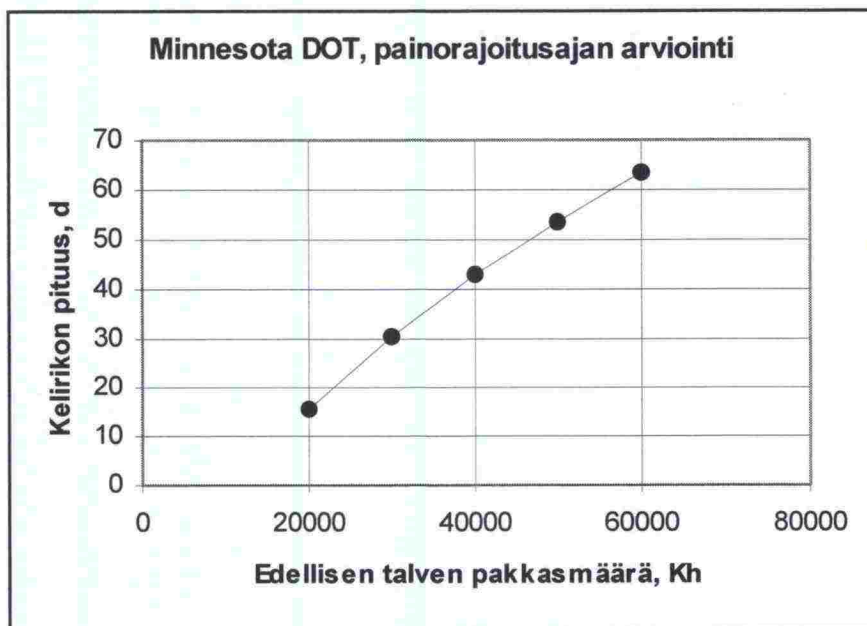
$D_t$  on painorajoitusaika, d

$F$  edeltävän talven pakkasmäärä, Kh

$z_f$  roudan syvyys, m

Sulamisoloiltaan Minnesota poikkeaa Suomesta auringonsäteilyn olojen puolesta. Minnesota sijaitsee leveyspiirillä noin 40°N, kun Suomi on vastavasti leveyspiirillä 60-70°N. Toisaalta tienpinnan pakkasmäärä on säteilyn vuoksi pienempi kuin ilman lämpötiloista määritetty, ja toisaalta tienpinnan lämpöastesumma on säteilyn suuremman lämpövaikutuksen vuoksi myös suurempi. Roudan sulaminen alkaa Minnesotassa aiemmin, ja sulaminen etenee nopeammin kuin Suomessa. Tämän vuoksi menettely ei ole suoraan siirrettävissä Suomeen, ja modifiointikin on mahdollista vain kenttämittausten perusteella (vrt. luku 2).

Vaurioitumisriskin käsittely, joka on mekaaninen ja materiaalitekhninen kysymys, on tehtävissä samoin kuin Minnesotassa. Tosin universaaliratkaisua ei ole toistaiseksi esitetty.

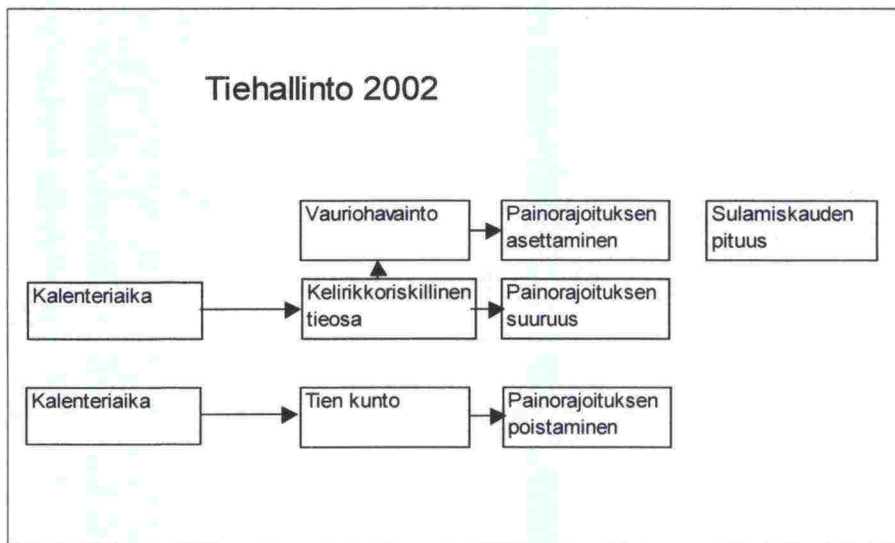


Kuva 34. Minnesota. Sulamiskauden keston riippuvuus pakkasmäärästä (kaava (2)), (Van Deusen et al.1998).

## 7.2 Tiehallinnon ohjeet

Periaatteet kelirikkoteiden liikenteen rajoittamista varten on esitetty ohjeessa (Tiehallinto 2002). Niitä on kuvattu kaaviona kuvassa 35. Ohjeet koskevat lähinnä runkokelirikon aikaista liikenteen rajoittamista. Ohjeessa painotetaan kevytpäälysteisten teiden turmeltumisen ehkäisemistä. Edelleen todetaan, että peruskuljetukset tulee voida aina hoitaa, mikä minimitasolla tarkoittaisi, että joka talouteen on päästävä ainakin henkilöautolla. Rajoitukset eivät koske elintärkeitä kuljetuksia, joiksi luetaan säännöllinen joukkoliikenne, maidon, teuraseläinten ja elintarvikkeiden kuljetukset sekä hälytysajoneuvoliikenne. Muille kuljetuksille, kuten maanajolle ja puutavaran ajolle, voidaan myöntää poikkeuslupia erityisperusteilla. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että ei-välttämättömät raskaat kuljetukset ovat kelirikkoaikana luvanvaraisia.





Kuva 35. Periaatteet painorajoituksen asettamiseksi, suuruuden määrittämiseksi ja poistamiseksi (Tiehallinto 2002).

Kelirikkoajan liikenteestä ei ole mitattua tietoa sen enempää perusliikenteestä kuin muista kuljetuksistaakaan. On ilmeistä, että kelirikkovauriot aiheutuvat nykytilassa perusliikenteellä. Se, että tie vaurioituu perusliikenteellä, tarkoittaa, että tien rakenne on riittämätön, eikä lisäliikennettä tule sallia. Lisäliikenteen sallimiseksi tietä tulee vahvistaa, mieluummin ennalta. Voitaisiinkin arvioida, että raskaiden kuljetusten salliminen kelirikkoriskin alaisella tiellä kelirikkoajana on vastuutonta. Se, ettei kelirikko toteudu jonakin keväänä voi olla seurausta tien keskimääräistä hiukan paremman kunnon ohella tavanomaista vähäisemmästä perusliikenteestä. Mittauksiin perustuvaa tietoa tien kunnon vaihtelusta kelirikon aikana tai eri keväinä samalla tieosalla on hyvin niukasti saatavissa.

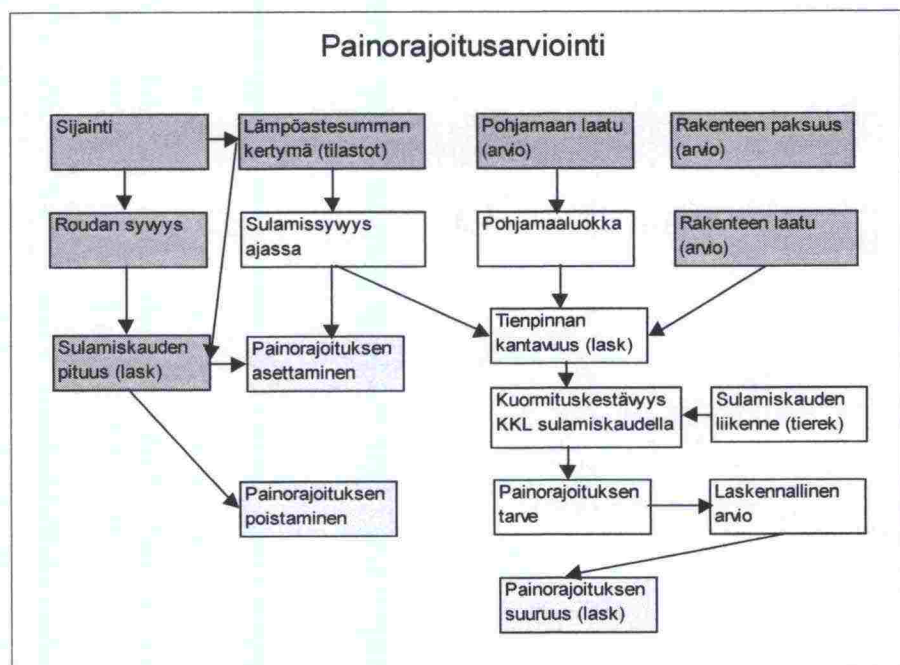
Kelirikon arviointia tehdään eri vaiheissa. Noin 2 kuukautta ennen kelirikon alkua laaditaan yleisennuste sekä ennakoiva liikenteen rajoitussuunnitelma. Tienpitäjä seuraa tilanteen kehittymistä tarvittaessa päivittäin, ja esittää viikoittain arvion painorajoituksen ennakoidusta asettamistarpeesta. Kelirikon aikana raportoidaan kerran viikossa arvio painorajoituksen ennakoidusta päättymisestä.

Painorajoitus asetetaan ajoneuvojen massaluokkien mukaisesti (yhdistelmän suurin massa 8...18 tonnia, henkilöauto enintään 4 tonnia tai ajokielto). Rajoitusta voidaan havaintojen perusteella kiristää. Rajoituksen ennustettavuutta voitaneen parantaa kantavuusmittauksilla. Kelirikkotielle voidaan lisäksi asettaa nopeusrajoitus.

### 7.3 Vaihtoehtoinen esitys mittausten perusteella

#### 7.3.1 Painorajoituksen ajoitus

Painorajoitus tulisi asettaa, kun sulaminen on edennyt merkittävästi, muttei niin, että tierungon vaurioituminen olisi alkanut (esimerkiksi 0,1 metrin syvyyteen). Tämä on arvioitavissa tienpinnan lämpötilamittausten perusteella tiesääasemilla tai havaittavissa routamittausten ja kenttähavaintojen perusteella (kuva 36).



Kuva 36. Arviointiin perustuva painorajoitusmalli.

Sulamiskauden pituus voidaan arvioida edellisen talven pakkasmäärän tai roudan syvyyden mukaan. Sulamiskauden päättyminen on mahdollista kohtuullisen luotettavasti arvioida jo helmikuussa, ennen sulamiskauden alkua. Sulamisen päättymistä voidaan luotettavammin ennakoida tiesääasemamittausten perusteella. Sulamisen päättymisen voidaan määrittää routamittareilla.

Painorajoitus tulisi poistaa sulamisen päättymisen jälkeen tai silloin, kun tien kantavuus on kantavuusmittausten perusteella arvioituna parantunut riittävästi.

### 7.3.2 Kuormituskestävyys ja painorajoituksen suuruus

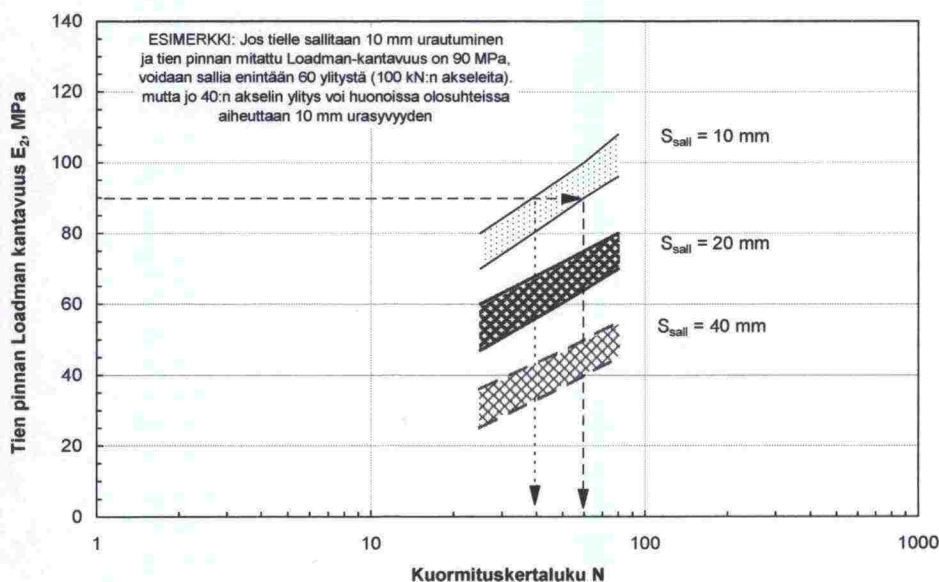
Jos on tiedossa perusliikenteen kuormituskertaluku kelirikkoaikana, voidaan kuvan 37 perusteella arvioida sitä kuormituskapasiteettia, joka on käytettävissä ylimääräiselle liikenteelle tietyn, hyväksyttävän vaurioitumisen puitteissa. Tällainen on tietysti mahdollista vain, jos tie perusliikenteellä on käytännössä vaurioton. Painorajoituksen suuruuden vaikutusta vaurioitumiseen voidaan arvioida potenssisäännöllä (pysyvien deformaatioiden suhde on verrannollinen kuormitusten suhteen neljänteen potenssiin, kaava (4)).

$$\frac{\Delta_p}{\Delta_{5ton}} = \left( \frac{P}{5ton} \right)^4 \approx \left( \frac{\varepsilon_p}{\varepsilon_{5ton}} \right)^4 \quad (4)$$

missä

$\Delta$  on pysyvä muodonmuutos  
 $P$  painorajoitettu pyöräkuorma, ton  
 $\varepsilon$  resilientti muodonmuutos

Soratien kulkukelpoisuuden / painumakehityksen  
 arviointi kelirikon aikana



Kuva 37. Sorapintaisen tien urautuminen liikennekuormituksen vaikutuksesta. Kuva perustuu kelirikon aikana tehtyihin mittauksiin kevyesti rakennetuilla metsäautoteillä. (Onninen 1998).



## **7.4 Painorajoituksen asettamisen periaatteet**

### **7.4.1 Painorajoitus asetetaan**

Asettamisesta seuraa, että sitä noudatetaan, jolloin vaihtoehtoina on joko sakkojen ottaminen, kuormien pienentäminen, reitin vaihto tai kuljetuksen siirto toiseen ajankohtaan.

### **7.4.2 Painorajoitusta ei aseteta, mutta vaurioituminen estetään**

Tällöin kelirikkovauriot estetään joko tehokkaalla korjauksella ja kunnossapidolla (nopeasti ja usein) tai peruskorjaamalla tiet (hitaasti ja harvaksen).

### **7.4.3 Painorajoitusta ei aseteta, ja vauriot hyväksytään**

Tällöin kelirikkovauriot korjataan (korjaus jälkikäteen) tai niitä ei korjata, jolloin syntyy tilanteet:

- käyttäjä hyväksyy vauriot
- käyttäjä välttää vaurioita muuttamalla reittiä tai
- käyttäjä estää vaurioitumisen muuttamalla kulkuneuvoa (kuormitus, paino, yms.).

Painorajoituksen asettamisen periaatteita on kuvattu liitteessä 2.

## **8 YHTEENVETO**

### **8.1 Routaantumisen ja sulamisen arviointi**

- Roudan ja sulamisen syvyyden arviointi on riittävän luotettavaa mitatun tienpinnan pakkasmäärän ja tienpinnan lämpöastesumman perusteella.
- Sulamisen alku olisi määritettävä tienpinnan lämpöastesumman kertymän tai sulamissyvyyden kenttämittauksen perusteella.
- Sulamisen päättymistä voidaan ennakolta arvioida toteutuneen pakkasmäärän perusteella lopputalvella. Sitä voidaan tarkemmin arvioida sulamisen aikana toteutuneen tienpinnan lämpöastesumman ja tilastoista määritetyn ennusteen perusteella.
- Sulamisen päätyminen voidaan todeta mitatun lämpöastesumman perusteella tai määrittää routamittauksin.

## 8.2 Kelirikkoisen tierakenteen tutkimukset

- Nykyisin kelirikkoisen tien tutkimukset tehdään maastotarkastuksina, ja mittauksia tehdään harvoin. Tavanomaisten tierakenteen ja pohjamaan tutkimusmenetelmien ohella tarvitaan nopeita, maaston ja tierakenteen ominaisuuksien muuttumista mittaavia ja tulkittavia menetelmiä, joilla olisi mahdollista luoda kuvaa tielinjan ja rakenteen sekä pohjamaan ominaisuuksista alueellisesta vaihtelusta sulamisvaiheessa.
- Tierakenteen ja pohjamaan ominaisuuksia voidaan tutkia tavanomaisten tutkimusten (näytteenotto, kairaus, koekuoppa, maastotarkastus) ohella maatumalla, joka tuottaa tietoa rakennekerrosten paksuudesta ja kerrosten kosteudesta sekä pudotuspainolaitteella, joka mittaa tien kantavuutta.
- Tielinjaa koskevaa perustietoa (maalaji, kosteustila) voidaan saada myös kaukokartoitusmenetelmällä käyttäen lähtöaineistona joko satelliittikuvausta tai lentoskannausta. Tuotetusta tiedosta yhdessä paikkatietomuo-toisen topografia- ja tielinjatiedon kanssa on mahdollista rajata kevätkan-tavuuden kannalta ongelmallisia ja ongelmattomia osuuksia, ja näin kes-kittää kenttätutkimuksia ja toimenpiteitä tarpeellisille tielinjan osille.

## 8.3 Sulavan tierakenteen kantavuus

- Kelirikkoisen tien kevätkantavuusmittauksesta tulisi tehdä menetelmäku-vaus, jossa esitetään vaatimukset mittauksen ajoitusta, tiheyden määri-tystä ja tulkintaa varten
- Kantavuuden aleneminen voidaan todeta kesä- ja kevätkantavuuden erotuksena, jonka perusteella voidaan rajata kelirikko-osuuksia.
- Kantavuuden alenemista havaitaan ensi sijassa osuuksilla, joilla on ollut merkittävää routanousua (routaheittoja).
- Kevätkantavuuden mittaus tulisi tehdä tien sulamisaikana. Sulamisen aika voidaan arvioida sulamissyvyysarviointilla lämpöastesumman pe-rusteella (vrt. luku 2).
- Sulaneen rakennekerroksen tai alusrakenteen kimmomoduulia arvioi-daan pudotuspainomittauksista takaisinlaskentamenetelmillä. Tätä var-ten on sulamissyvyyden oltava tiedossa joko mitattuna tai luotettavasti arvioituna.
- Kevätkantavuutta sulamisaikana voidaan likimäärin arvioida mitatun ke-säkantavuuden perusteella, kun alusrakenteen kantavuutena käytetään kantavuusluokituksen mukaista alusrakenteen maalajin kevätkantavuutta sekä rakennekerrosten kostean tilan kimmomoduuleja ja tunnettuja ker-rospaksuuksia.



## 8.4 Sulavan tierakenteen vaurioituminen

Vähäliikenteisten teiden mitoituksessa päällysteen/tienpinnan taipumalla ja vetojännityksellä ei ole merkitystä. Tienpidon ja kestoiän kannalta enemmän merkitystä on rakennekerroksissa ja pohjamaassa syntyvillä, pysyvillä deformaatioilla, jotka näkyvät tien pinnassa urautumisena ja vaurioina.

- Veden kyllästämän alusrakenteen deformaatiot eivät ole alusrakenteen pystysuoraa kokoonpuristumista, vaan leikkausmuodonmuutoksia, joiden seurauksena tien pinta urautuu ja pohjamaassa syntyy sivusiirtymää (levenemistä).
- Alusrakenteen ohella myös heikkolaatuisissa rakennekerroksissa voi syntyä urautumista lisäävää pysyvää deformaatiota. Myös jyrkkäluiskaisessa päällysrakenteessa syntyy sivusiirtymää.
- Rakennekerrosten kantavuuden pienetessä rakennekerrosten ja alusrakenteen deformaatiot kasvavat. Näin jäykkyyden aleneminen johtaa suurempiin vaurioihin. Jäykkyyden ohella myös rakenteen paksuuden sekä päällysrakenteen ja pohjamaan jäykkyyseron ym. muiden tekijäin vaikutusta vaurioitumiseen olisi tutkittava.
- Relienttimuodonmuutosten kasvaessa pysyvät muodonmuutokset kasvavat. Näyttää siltä, että tietyn rajamuodonmuutoksen jälkeen pysyvät muodonmuutokset alkavat voimakkaasti kasvaa, ja kuormitusten lisääminen edelleen johtaa käytännössä murtotilaan.
- Painorajoituksella tulisi tierakenteen muodonmuutokset alentaa em. kriittisen rajan alapuolelle. Muodonmuutosrajasta on alustavaa tietoa, mutta sen luonteesta ja suuruudesta eri materiaaleissa on niukasti mitattua tietoa.
- Kun tien muodonmuutokset ovat em. rajan yläpuolella, tierakenteen kyky kestää lisäliikennettä on erittäin rajoitettu.
- Urautumisen mekanismi ei vielä ole niin tunnettu, että sen laskennallinen mallintaminen olisi kaikissa olosuhteissa luotettavaa. Urautumismalleja on kuitenkin laadittu täysmittakaavan kuormitusten perusteella. Näiden pohjalta on luotavissa kuormituskestävyyksille, joilla voidaan vähäliikenteisen tien kuormituskestävyyttä keliirikkonaikana arvioida painorajoituksen tarpeen ja suuruuden määrittämiseksi sekä tierakenteen korjauksen mitoittamiseksi. Mallien avulla voidaan myös täsmällisemmin määrittää erilaisten uusien rakennekonseptien ja -materiaalien mitoitus.



### 8.5 Liikennekuormitus kelirikkoaikana

- Tien kuormituskestävyyden ja perusliikenteen perusteella voidaan arvioida, onko painorajoitus tarpeen lisäliikenteen rajoittamiseksi ja luvanvaraistamiseksi.
- Vähäliikenteisten teiden kelirikkoarvioinnissa tarvitaan tietoa niiden kuormituskertaluvusta.
- Tulisi laatia menettely tieosan perusliikenteen ja erityisesti kuormituskertaluvun arviointia varten.

### 8.6 Painorajoituksen ajoitus ja suuruus

- Minnesotassa laadittua kelirikon ajoitusmallia ei voida soveltaa Suomessa, periaatteita kylläkin.
- Suomessa sovellettava ajoitus tulisi perustaa kenttähavaintojen lisäksi tiesääasemien ja routamittausten käyttöön paikallisen sulamistilanteen määrittämiseksi.
- Kuormituskestävyyden arvioinnissa tulisi kehittää ja ottaa käyttöön mitoitusmalli, jossa tielle sulamisaikana sallittavaa kuormituskertalukua voidaan arvioida tietyllä, sallitulla vauriotasolla. Mitoitusmallia voidaan soveltaa painorajoituksen tarpeen määrittämisessä, painorajoituksen suuruuden määrittämisessä ja vahvistusrakenteen mitoituksessa. Malli perustuu ensi sijassa mitattuun kantavuuteen, ja siinä voidaan ottaa huomioon lisäksi tien rakenne ja pohjamaan laatu.
- Tulisi selvittää, onko kokonaistaloudellisesti edullisempaa poistaa painorajoitukset ja korjata vähäliikenteiset tiet, vai suojata ja ylläpitää teitä painorajoituksin ja siirtää osa kustannuksista tien käyttäjille.

## 9 JATKOTUTKIMUSTARPEET

Liitteessä 2 on kuvattu tutkimusaiheita, joilla tässä esitutkimuksessa kuvattuja menettelytapoja on mahdollista konkretisoida tienpidon työkaluiksi.

## 10 KIRJALLISUUTTA

Arvidsson P-Å & Holmgren M. (1999). Vägstandardens inverkan på skogsnäringens transportarbete och försörjning av högkvalitativa råvaror. Skogforsk, Arbetsrapport Nr. 433. 59 s.

Asphalt Institute (1982). REsearch and development of the Asphalt Institute's Thickness design manual (MS-1), IX edition. Central Park, Maryland. Research Report No. 82-2.

Belt J., Lämsä V. P., Ehrola E., Ernvall T. & Seppälä H. (1999). Soratiestön rukokelirikko. Tielaitoksen tutkimuksia 1/1999. 92 s. + liitt 18 s.

Bigl. S.R. & Berg R.L. (1996). Material testing and initial pavement design modelling. Minnesota road research project. CRREL, Report 96-14. 56 s

Bhosale S.S. & Phatak D.R., (2000). Geotextile reinforced unpaved road design: modified Houlsby approach. Ground Engineering, June 2000, s. 34-37.

Davies T.G. & Karim U.F. (1995). An elastodynamic interpretation of impact test apparatus for soils. Geotechnique Vol 45:4, pp. 691-700.

Deusen van D. , Schrader C. , Bullock D. & Worel B. (1998). Recent research on springtime thaw weakening and load restrictions in the state of Minnesota. TRB 1998, Paper No. 980621, 19p.

Dore G. (2002). Development of a new mechanistic index to predict pavement performance during spring thaw. Proc. Cold regions conference ASCE, Anchorage Al.

Enkell K. & Johansson H.G. (1996). Grusvägar. Bärförmåga, krav och verifikationsmetoder, delrapport: förundersökningar. Linköping, VTI Notat Nr. 62-1996. 15 s.

Enkell K. & Arvidsson H. (1997). Grusväg. Bärförmåga, krav och verifikationsmetoder. Byggnadsrapport väg 671, Z län. Linköping, VTI Notat Nr. 4-1997. 16 s.

Fannin R.J. & Sigurdsson O. (1995). Field observations on stabilization of unpaved roads with geosynthetics. ASCE, J. Geot. Engng, Vol 122:7, pp.544-553.

A Geotextiles design guide. Don & Low plc.

Giroud J-P. & Noiray L. (1980). Geotextile-reinforced unpaved road design. ASCE, J. Geot. Engng, Vol. 107, pp. 1233-1251.

Kelirikko maksaa metsätaloudelle satoja miljoonia vuodessa. Metsäteho, tiedote.

Kelirikkoteiden liikenteen rajoittaminen. Toteuttamisvaiheen ohjaus. Tiehallinto, Muu ohjaus 307/2002/20/1. 13 s.

Kestler M.A. (1997). Current and proposed practices for nondestructive highway pavement testing. CRREL, Special report 97-28. 13 p.

Kestler M.A., Shoop S.A., Henry K.S., Stark J.A. & Affleck R.T. Rapid stabilization of thawing soils for enhanced vehicle mobility. A field demonstration project. CRREL, Report 99-3. 78 p.

Korkiala-Tanttu, L., (Törnqvist, J.), Jauhiainen, P., Halonen, P., Laaksonen, R., Juvankoski, R. & Kangas, H., Luiskatun tierakenteen urautuminen. Kevytpäällyste-tutkimus. HVS-NORDIC koerakenteet. Tiehallinnon selvityksiä 33/2002.

Löfroth C. (1995). Balsjövägen. Provväg med stenrik överbyggnad. Skogforsk, Redogörelse nr. 8. 80 s.

Näätänen A. (1998) Roudan sulamisen analysointi havaintokohteissa. TKK, Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, Pohjarakennus- ja maamekaniikka, Diplomityö. 154 s.

Onninen H. (1998). Metsäautoteiden kuormitettavuus. Kenttätutkimukset ja mittaukset 1995-97. 21 s.

Powell W.D., Potter J.F., Maychew H.C. & Nunn M.E. (1984). The structural design of bituminous roads. Transport and road research laboratory, TRRL Laboratory Report 1132. 50 p.

Richmond P.W., Shoop S.A. & Blaisdell G.L. (1995). Cold regions mobility models. CRREL Report 95-1. 79 p.

Saarelainen S. (2001). Pohjamaan urautumisen ja sulamisen arviointi kevät-kantavuusvaiheessa. TPPT-raportti 23.

Saarelainen, S (1998). Kelirikkoisen soratien kantavuuden parantamismenetelmiä. Bitumistabilointi ja raudoitettu murske. Savo-Karjalan tiepiiri, Päällystysyksikkö, Kuopio 1998. Tielaitoksen sisäisiä julkaisuja 1998. 101 s.

Soratiestön hallinnan kehittämisprojektit 1995-96 (1997). Tielaitos, tutkimuskeskus, projektitiedote 14.1.1997.9 s.



Sorateiden runkokelirikon inventointiohje (1996). Tielaitos, keskushallinto, tienpidon suunnittelu. Helsinki . 15 s.

U.S.Army (1987). Flexible pavement design for airfields (layered elastic method). Department of the Army, Washington D.C., Technical manual TM5-800-09.

Yesiller N., Bemson C.H. & Rosscher P.J. (1996). Comparison of load restriction timings determined using FHWA guidelines and frost tubes. J. Cold Regions Engng ASCE, Vol. 10:1, pp. 6-24.

## 11 LIITTEET

- LIITE 1. Alustava arvio runkokelirikon poistamisen taloudellisesta kannattavuudesta
- LIITE 2. Tutkimusehdotukset
- LIITE 3. Painorajoituksen paikkakohtainen asettaminen.

## ALUSTAVA ARVIO RUNKOKELIRIKON POISTAMISEN TALOUDELLISESTA KANNATTAVUUDESTA

### ***Lähtötiedot***

#### A Väylästön laajuus

##### **Yleiset tiet**

Valtion sorateitä on noin 27 000 km /Tiefakta 2002, Tiehallinto/

Näistä on keliirikkoalttiita 30 % eli 9 000 km /Puutavarajuhlaseminaari Joensuu 21.9.2001, johtaja Hannu Valtasen puheenvuoro puutavaran autokuljetuksista/

Runkokeliirikkoalttiita yleisiä teitä on 2 400 km (8,9 %) /Soratiestön runkokeliirikko, Tielaitoksen tutkimuksia 1/1999/

##### **Yksityistiet**

Yksityisteitä on yhteensä 280 000 km /Väyläomaisuuden hallinnan tutkimusohjelma, Tiehallinto 2003/. Yksityistiet ovat pääasiassa sorateitä tai esimerkiksi metsäautoteitä.

#### B Runkokelivaurioiden poistamisen kustannus

Runkokeliirikon poistamiseksi tien rakennetta tulee parantaa keliirikkokohdassa. Keskimääräinen rakennuskustannus on 60 €/m vaurioluokassa 1 (raskas toimenpide) /Soratiestön runkokeliirikko, Tielaitoksen tutkimuksia 1/1999/.

Yleisten teiden osalta rakentamisen kokonaiskustannus on 144 milj. €, kun kaikille runkokeliirikkoalttiille tieosille käytetään samaa yksikkökustannusta.

Oletetaan, että yksityisteillä keliirikkoa esiintyy samassa suhteessa kuin yleisillä teillä. Tällöin yksityisteistä on runkokeliirikkoalttiita teitä 8,9 % eli 24 900 km.

Runkokeliirikon poistamisen keskimääräiseksi rakennuskustannukseksi oletetaan 50 €/m. Yksityisteiden osalta runkokeliirikon poistamisen rakennuskustannus olisi siten 1245 milj. €.

### C Hyödyt

Puunjalostusteollisuuden lisäkustannus kelirikosta on arvioiden mukaan 100 milj.€ / vuosi.

Tässä tarkastelussa ei lasketa muita hyötyjä. Lisähyötyjä olisivat alentunut kunnossapitokustannus, muille toimialoille kohdentuvat hyödyt sekä henkilöliikenteelle koituvat hyödyt (alentuneet ajokustannukset ja pienentyneet aikakustannukset)

Oletetaan, että yleisten teiden runkokelirikon poistaminen vähentää lisäkustannukset

a) puoleen, 50 milj. €/vuosi

b) samassa suhteessa kuin tiekilometrejä on yksityisteihin nähden, jolloin yleisille teille kohdentuva hyöty on 10 milj. €/vuosi

Yksityisteiden runkokelirikon poistamisesta saatava hyöty on kokonaishyödyn ja yleisille teille kohdennetun hyödyn välinen erotus. Tapauksessa a) hyöty on 50 milj. € vuodessa ja tapauksessa b) hyöty on 90 milj. €/vuosi.

### D Investointilaskelma

Investointilaskelma ei noudata Tiehallinnon investointilaskelmissa käyttämää yleistä menettelyä kaikkien kustannus- tai hyötykomponenttien osalta, vaan tarkastelu sisältää yhden teollisuustoimialan omassa toiminnassa tehtävien muutosten vaikutuksia kustannuksiin.

Laskelmissa käytetty vuotuinen korkokanta on 6 % .

#### Yleiset tied

- investointi 144 milj. €
- säästö 10, 15 ja 50 milj. €/vuosi
- pitoaika 15 vuotta
- jäännösarvo 0

Investointi on 50 milj. € vuosisäästöllä kannattava ja h/k-suhde on 3,4

Säästön ollessa n 15 milj. € / vuosi investointi on tuottanut kulunsa ja korkokustannuksen sitoutuneesta pääomasta, mutta ei lisätuottoa (h/k-suhde 1,0)

#### Yksityistiet

- investointi 1 245 milj. €
- säästö 10, 90 ja 125 milj. €/vuosi
- pitoaika 15 vuotta
- jäännösarvo 0



## LIITTEET

Investoinnin nykyarvo on 90 milj. € vuosisäästöllä –350 milj. € ja HK-suhde 0,7 eli investointi ei ole kannattava.

Jos vuotuinen säästö olisi 125 milj. €, niin tällöin h/k suhde olisi 1,0. Lisäksi edellytyksenä on, että myös yleisiltä teiltä on korjattu tieosat, joilla esiintyy runkokelirikkoa.

Taulukko A. Yleisillä ja yksityisteillä runkokelirikon poistamisesta tehtyjen investointilaskelmien hyöty-kustannussuhteet.

Tietyyppi	Haitta yhteensä 100 milj. €/a	
	Vuotuinen poistettava haitta (milj. €/a)	Hyöty-kustannussuhde
Yleiset tiet Investointi 144 milj. €	10	0,7
	15	1,0
	50	3,4
Yksityistiet Investointi 1 245 milj. €	90	0,4
	50	0,7

Yksityisteiden osalta hyöty-kustannussuhde on 1,0, kun poistettava haitta on 125 milj. € vuodessa.

E Johtopäätökset

Runkokelirikon poistaminen yleisiltä sorateiltä on investointilaskelman mukaan kannattava, jos kelirikon poistaminen yleisiltä sorateiltä tuottaa vähintään 15 milj. € vuotuisen säästön. Metsäteollisuuden tekemien arvioiden mukaan kelirikon aiheuttamat lisäkustannukset ovat kokonaisuudessaan 100 milj. € vuodessa. On perusteltua olettaa, että yleisten teiden osalta olisi saavutettavissa vaadittava 15 % säästö. Jos yleisiä teitä parantamalla olisi saavutettavissa 50 % säästö, olisi hanke erittäin kannattava.

Yksityisteiden osalta investointilaskelma osoittaa, että kokonaisuudessaan runkokelirikon poistaminen ei ole kannattavaa. Tarkempien analyysien perusteella myös yksityisteiltä on paikannettavissa kohteita, jotka olisivat kannattavia. Kohteiden paikantaminen edellyttää puun hankinta-alueiden määrittämistä optimointimenetelmin ja kriittisten kohtien määrittämistä erillisten kuljetusvirtatarkastelujen pohjalta. Yksityisteiden osalta tulee muistaa, että myös yleisiltä teiltä tulee kelirikko poistaa niiltä osin, kun kuljetukset käyttävät kelirikosta kärsiviä yleisiä teitä.

## TUTKIMUSEHDOTUKSET

### 1 Verkkotutkimus

#### *Tavoite*

- selvitetään painorajoituksen vaikutuksia kuljetussuoritteeseen
- kelirikon tunnistaminen

#### *Tutkimustapa*

- simuloidaan ja selvitetään painorajoituksen vaikutuksia kuljetussuoritteeseen tieverkon osassa verrattuna painorajoittamattomaan
- painorajoituksen poistamisen edellyttämä ylläpito/korjauspanostus

#### *Hyödyntäminen*

- painorajoitusten poistamisen vaikutus liikennesuoritteeseen, arviointi
- onko painorajoitus edullisempi kuin ilman painorajoitusta?

### 2 Tieosatutkimus

#### *Tavoite*

- kelirikkoisten osuukien tunnistaminen ja rajaaminen

#### *Tutkimustapa*

- tutkimusmenetelmät suunnittelua ja rakenteen mitoitusta varten
  - esitutkimukset, epäsuorat
  - PPL, rakennetutkimukset, routamittaukset ym.
- vaurioituminen normaaliliikenteellä

#### *Hyödyntäminen*

- kelirikkoisten tieosien parantamisen suunnittelu ja mitoitus

### 3 Poikkileikkaustutkimus

#### *Tavoite*

- kelirikon aikaisen vaurioriskin ajallinen rajaaminen (koska alkaa, koska päättyy)

#### *Tutkimustapa*

- routa- ja kantavuusmittaukset kohteessa, mallintaminen

#### *Hyödyntäminen*

- painorajoituksen ajoittamisen testaus

### 4 Vähäliikenteisen tien liikenteen generoituminen ja arviointi

#### *Tavoite*

- liikennesuorituksen määritysmenetelmä

#### *Tutkimustapa*

- liikenteen määrän ja laadun mittaus
- arviointimallin laatiminen

#### *Hyödyntäminen*

- liikennekuormitusluokituksen laatiminen vähäliikenteisille teille
- kuormituskertaluvun arviointimenettelyn laatiminen vähäliikenteisille teille

## **5 Routatilan määrittäminen tiesääsämien palvelujen ja routamittausten avulla**

(vrt. Minnesota)

### *Tavoite*

- kelirikon alun ja lopun/painorajoituksen asettamisen ja poistamisen paikallinen ajoittaminen ilmastotiedon ja routamittausten perusteella

### *Tutkimustapa*

- tiesääsämien pakkasmäärän laskenta ja tiedottaminen
- tiesääsämien lämpöastesumman laskenta ja tiedottaminen
- roudan ja sulamisen syvyyden arviointi asemittain
- verifiointi routamittauksin (routamittaussäätämien perustaminen)
- verifiointi kantavuusmittauksin

### *Hyödyntäminen*

- kelirikkoajan tienpitotoiminnan tukeminen (ennakointi, päätösten perusteella)

## **6 Kelirikkoisen tien kuormituskapasiteetin arviointi**

### *Tavoite*

- kelirikkoisen tien kuormituskapasiteetin arviointimallin laatiminen painorajoituksen suuruuden, tien liikennekuormituksen ja korjausrakenteen mitoituksen määrittämistä varten

### *Tutkimustapa*

- mittauksiin perustuvan vauriomallin laatiminen
- arviointiin perustuvan vauriomallin laatiminen
- mallin testaus täysmittakaavassa (HVS, koetiemittaukset)

### *Hyödyntäminen*

- kuljetusoperaatioiden suunnittelu
- painorajoitusten asettaminen
- korjausrakenteen mitoitus



## PAINORAJOITUKSEN PAIKKAKOHTAINEN ASETTAMINEN



### Vähäliikenteisten teiden taloudellinen ylläpito: Painorajoituksen paikkakohtainen asettaminen

Törnqvist, Laaksonen, Pienimäki, Saarelainen



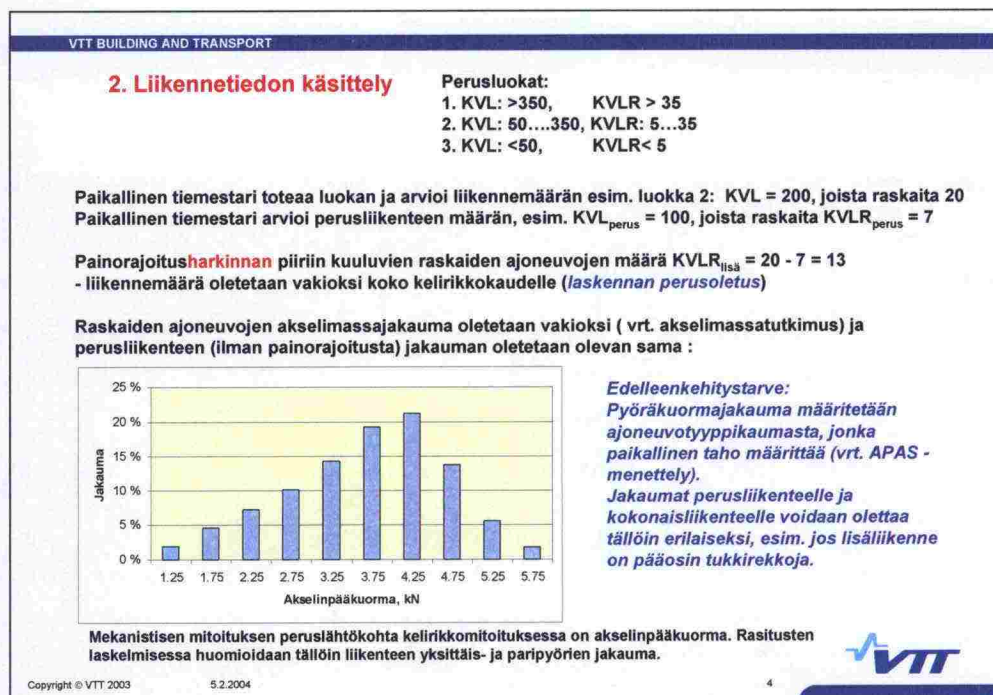
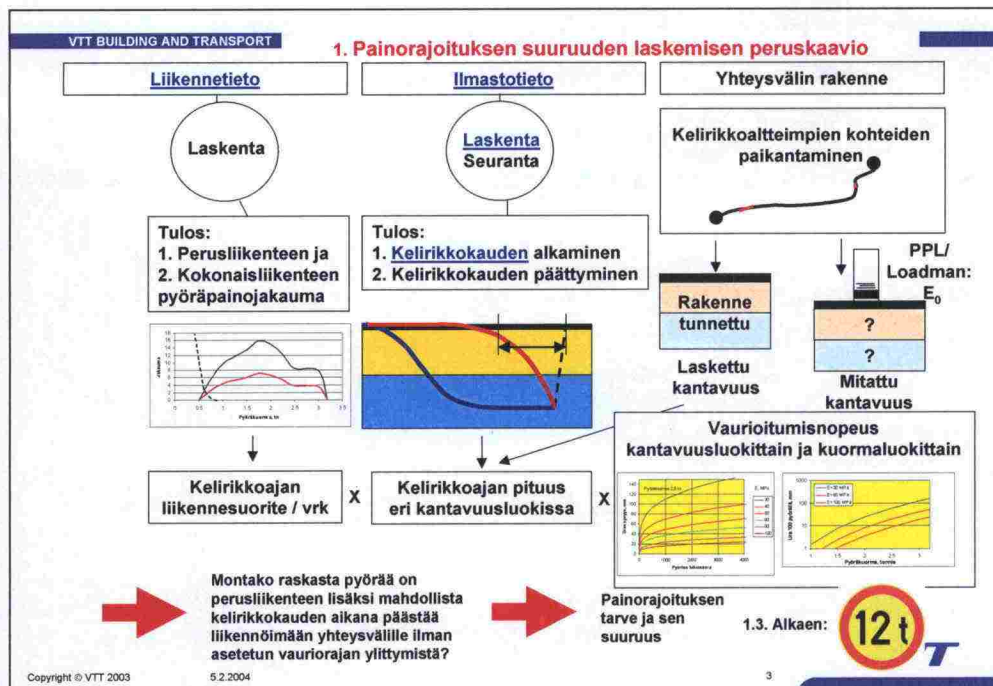
#### VTT BUILDING AND TRANSPORT

### Vähäliikenteisten teiden taloudellinen ylläpito: Painorajoituksen paikkakohtainen asettaminen

#### Sisältö:

1. Painorajoituksen suuruuden laskemisen peruskaavio
2. Liikennetiedon käsittely
3. Ilmastotiedosta laskennalliseen kelirikkokauden pituuteen
  - 3.1 Ilmastotiedon todennäköisyysjakaumat
  - 3.2 Tien pinnan lämpötilassa huomioidaan globaalisäteilyn vaikutus
  - 3.3 Pakkasmäärän ennustaminen ja mitatuilla lämpötilatiedoilla korjattu ennuste
  - 3.4 Sulamisen ennustaminen ja mitatuilla lämpötilatiedoilla korjattu ennuste
  - 3.7 Esimerkki lämpötilamittauksella määritetystä roudansyvyydestä
  - 3.8 Ennusteen tarkkuus parantuu mittaamalla
  - 3.5 Roudan eteneminen ja sulaminen hallitaan laskennallisesti SRR- ja SSR-Thaw -malleilla
  - 3.6 Pinnaltaan hyvin kuivuvien teiden kelirikkokauden vaihtoehtoinen määrittäystapa
4. Kelirikkoalttiiden kohteiden paikantaminen
5. Rakenteen kuvaaminen vähäliikenteisten teiden kelirikkolaskennoissa
6. Rakenteen pintakantavuuden muuttuminen sulamisen edetessä
  - Empiiriset vuorovaikutusmallit
  - Empiirinen urautumismalli muodossa pyöräkuorma - pintakantavuus - ura/100 pyörää
  - Empiirinen urautumismalli 2,5 tn pyöräkuormalle
7. Kelirikkokauden urautumisen laskenta
  - 7.1 Laskentamenettelyn tuottama tulos taulukkomuodossa
  - 7.2 Painorajoitusennuste sulamiskaudella mitatuilla lämpötiloilla ja kantavuuslaskennoilla tarkennettuna - periaatekuva
  - 7.3 Painorajoitusennuste sulamiskaudella mitatuilla lämpötiloilla ja kantavuuslaskennoilla tarkennettuna - periaatekuva
  - 7.4 Painorajoitusennusteen korjaaminen huomioidamalla päästetty ajallisesti rajoitettu lisäliikenne
  - 7.5 Urautumisen empiirinen perusmalli pintakantavuuden pohjalta
  - 7.6 Deformaatiohankkeen tuottama urautumislaskentatulokset
  - 7.7 Deformaatiohankkeen ehdottama deformaatiosuure koemenettelyn periaate
  - 7.8 Materiaalikäytännön perusmalli sitomattomilla rakennekerrosmateriaaleilla





## LIITTEET

## VTT BUILDING AND TRANSPORT

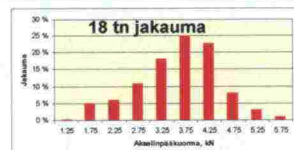
**Raskaiden akselien liikennesuorite**

Kun kohteessa päätetään asettaa painorajoitus ja painorajoitus asetetaan kokonaispainona, tarvitaan tieto siitä minkälainen on akselipainojakauma kullekin painorajoitetulle liikenteelle nimenomaan painorajoituksen vaikutuksesta. Tieto on saatavissa, akselimassatutkimuksen taustatiedoista, mutta tässä luvut on esitetty pelkästään periaatteellisenä.

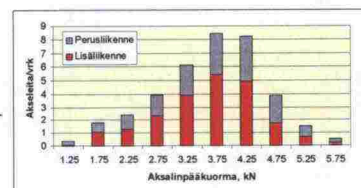
Jos painorajoitukseksi asetetaan esimerkiksi 18 tn, kohdistuu painorajoitus painorajoitusharkinnan piiriin kuuluviin raskaiden ajoneuvojen määrään  $KVLR_{lisa} = 13$  /vrk, joiden akselimäärä on keskimäärin 2,2 akselia / ajoneuvo. Perusliikenteen ( $KVLR_{perus} = 7$  ajoneuvoa/vrk) ollessa edelleen rajoittamaton, saadaan akselimäärä eri massaluokissa lasketuksi:



X 15,4 akselia/ vrk



X kx 28,6 akselia/ vrk



Kertoimella k otetaan huomioon keskivuorokausiliikenteen pienentyminen painorajoituksen asettamisen johdosta. 18 tn tapauksessa ja tässä kohteessa  $k = 0.76$

Painorajoituksen laskemiseksi kaikkien painorajoitusvaihtoehtojen kuormitusjakaumat tulee laskea valmiiksi laskentaohjelman lähtötietotaulukkoon. Mikäli tästä kuormitusjakaumasta halutaan, esim. tunnetun paikallisen erityisliikenteen johdosta poiketa, se voidaan myös antaa erikseen. Vrt. APAS.

Copyright © VTT 2003

5.2.2004

5

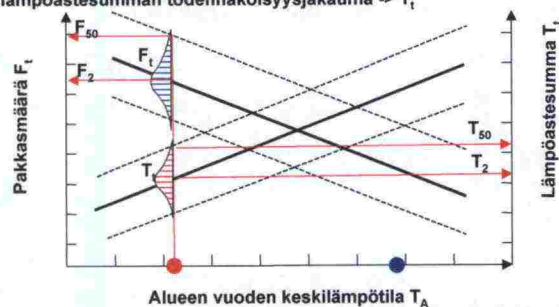
## VTT BUILDING AND TRANSPORT

**3. Ilmastotiedosta laskennallisen kelirikkokauden pituuteen****3.1 Ilmastotiedon todennäköisyysjakaumat**

Ilmastotieto on jaettu aluemaantieteellisiin osiin ja perustuu Ilmatieteen laitoksen keräämiin ilman lämpötilamittauksiin

Kunkin alueen taustalla on seuraavat tiedot:

- alueen vuotuinen keskilämpötila:  $T_A$
- pakkasmäärän kertymän todennäköisyysjakauma  $\rightarrow F_t$
- lämpöastesumman todennäköisyysjakauma  $\rightarrow T_t$



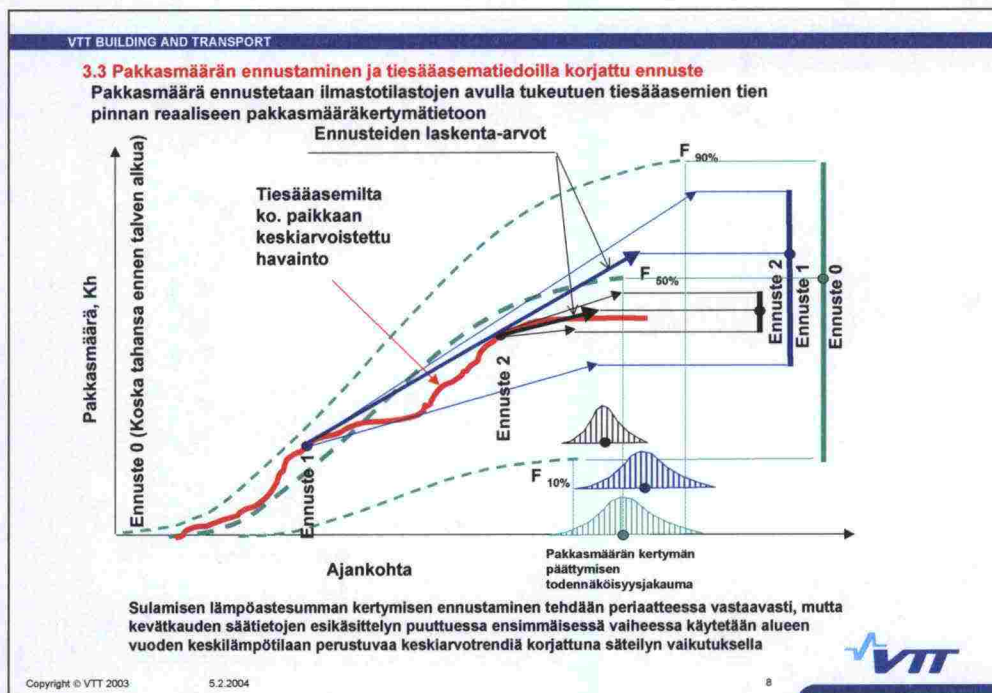
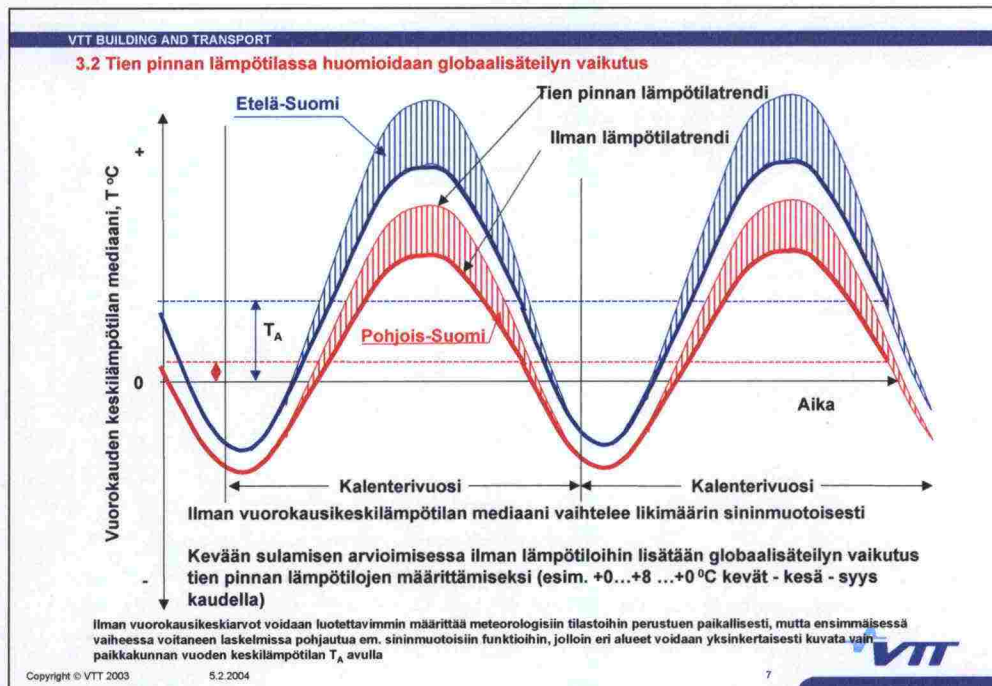
Ensimmäisessä vaiheessa ei painorajoituksen laskennassa käytetä todennäköisyyteen perustuvaa menettelyä ennustemenettelyssä, vaan laskennat tehdään keskiarvoja käyttäen ( $F_2$  eli  $F_{50\%}$ )  $\rightarrow$  kehitystarve

Copyright © VTT 2003

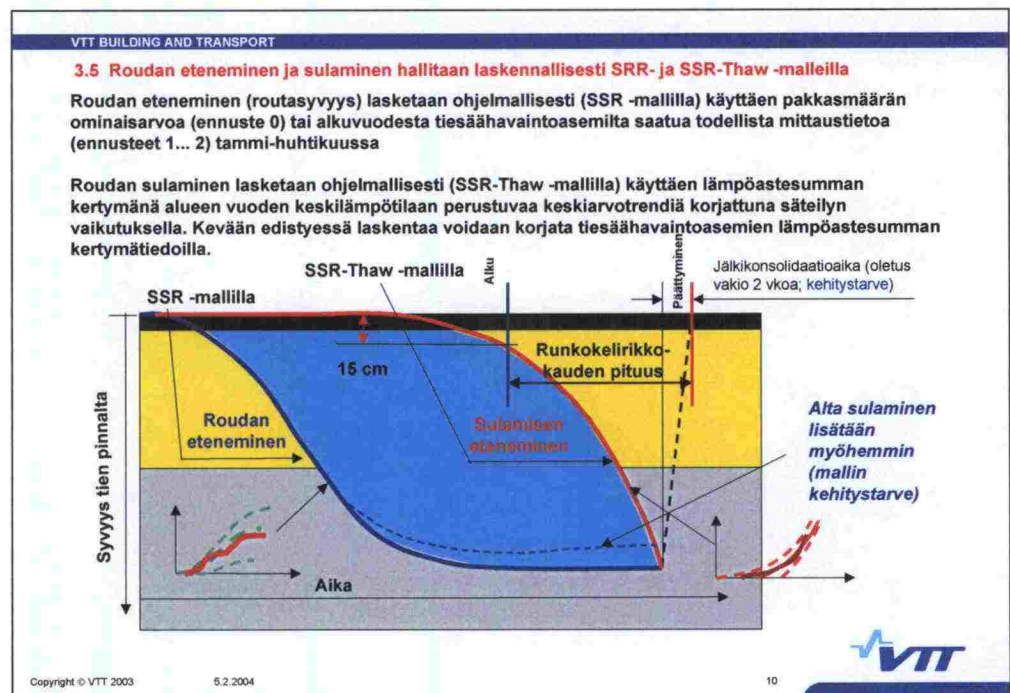
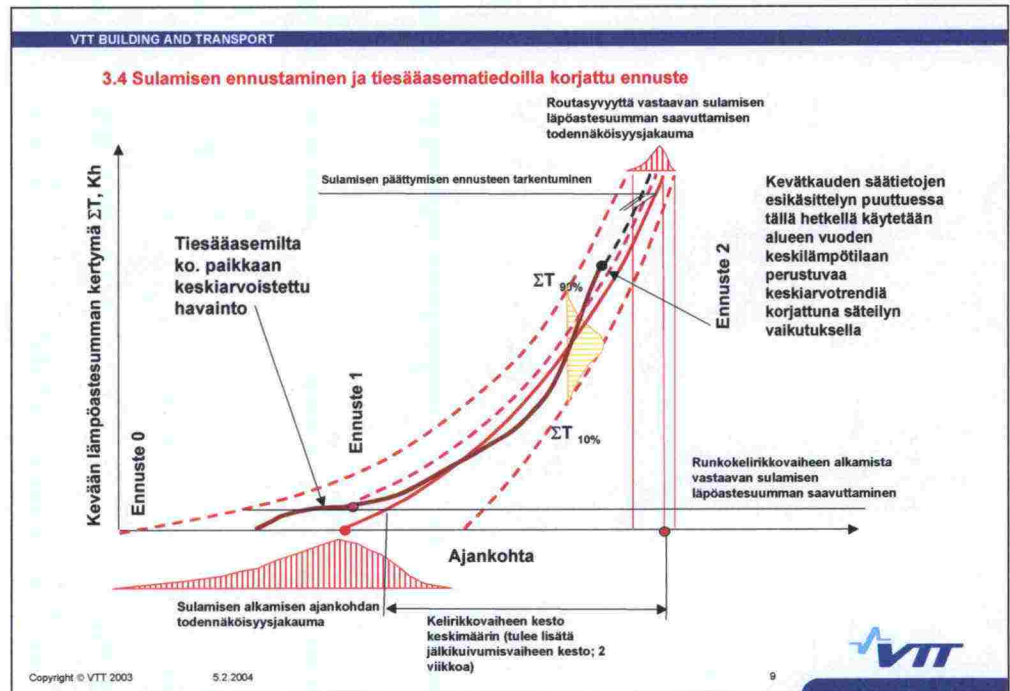
5.2.2004

6





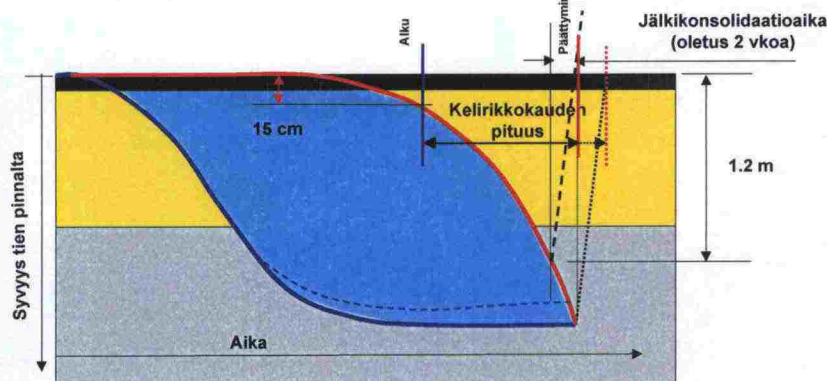
## LIITTEET



VTT BUILDING AND TRANSPORT

**3.6 Pinnaltaan hyvin kuivuvien teiden kelirikkokauden vaihtoehtoinen määrittystapa**

Kelirikkokauden pituus, jos rakenteen pintakantavuus  $> 60$  MPa ja rakenne on hyvin pinnalta kuivuttava: minimikantavuus on ohitettu kun sulaminen on edellyt yli 1.2 m



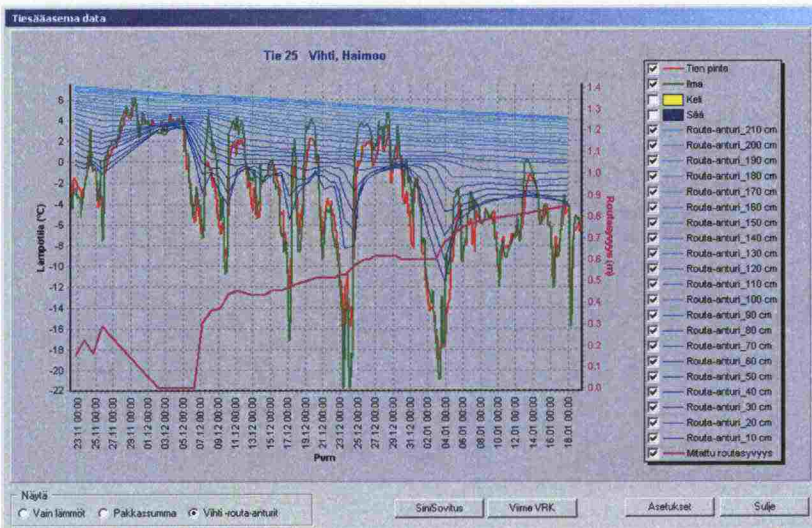
Copyright © VTT 2003

5.2.2004

11



VTT BUILDING AND TRANSPORT

**3.7 Esimerkki lämpötilamittauksella määritetystä roudansyvyydestä (Vihdin mittausasema)**

Copyright © VTT 2003

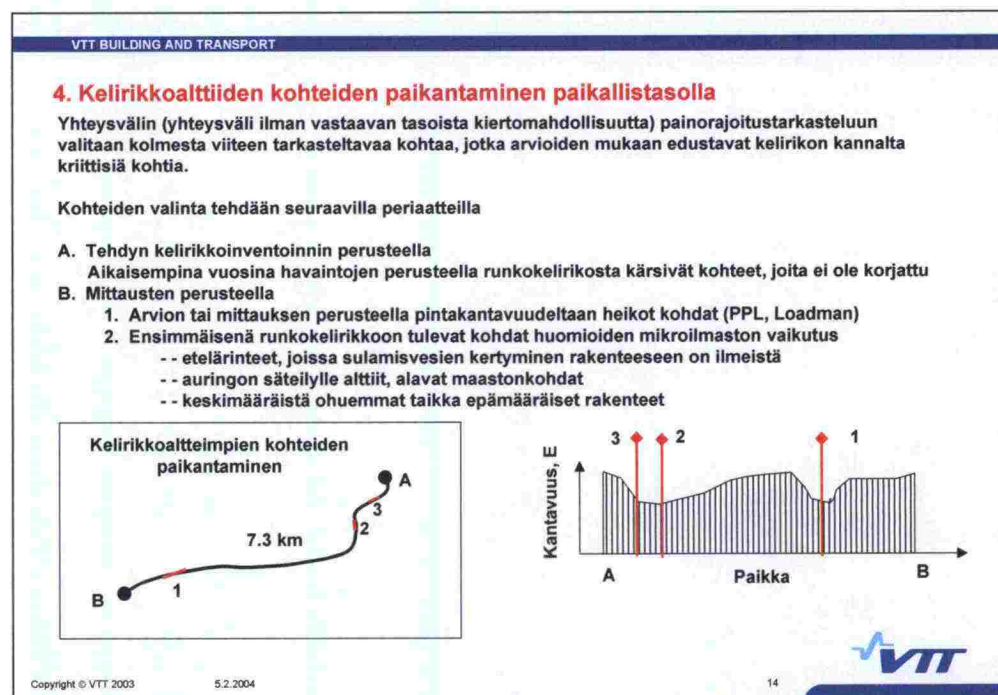
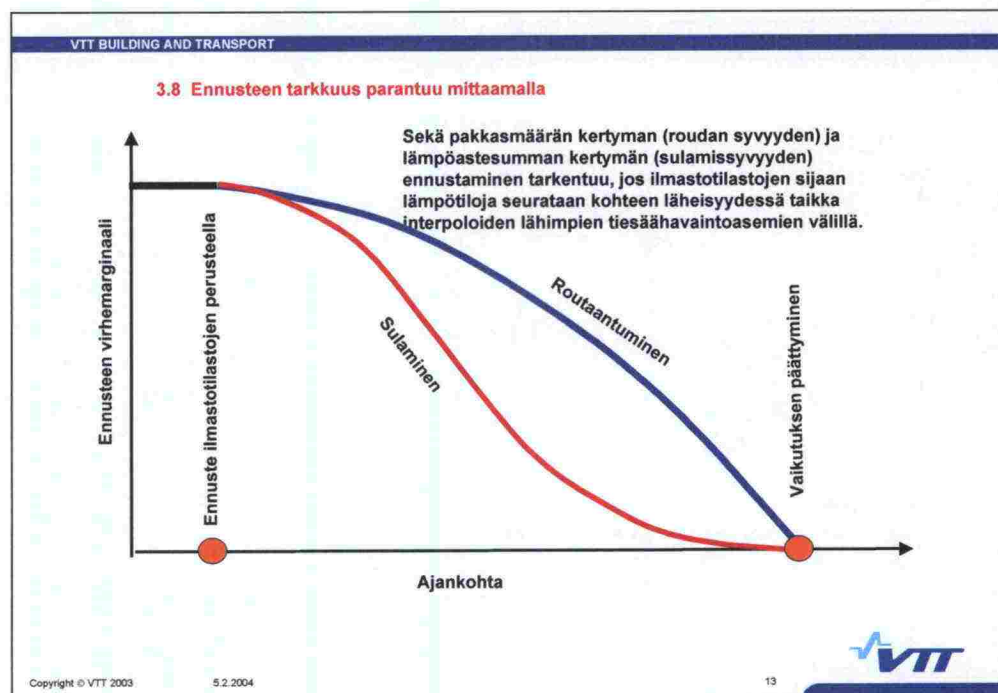
5.2.2004

12





## LIITTEET

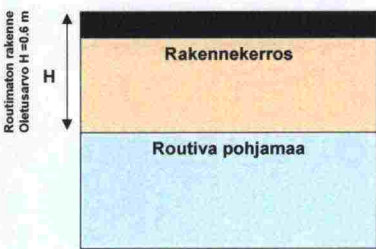


VTT BUILDING AND TRANSPORT

### 5. Rakenteen kuvaaminen vähäliikenteisten teiden kelirikkolaskennoissa

Rakenne oletetaan keskimääräiseksi - tai annetaan tunnettuna, jos se tiedetään

Routimaton rakenne  
Oletusarvo  $H = 0.6$  m



Rakennekerros

Routiva pohjamaa

H

Rakennekerros

☐ 0.5 m

☐ 1.0 m

☐ Muu \_\_\_\_\_ m

☐ Rakennettu tie

☒ Rakentamaton tie

H = 0.6 m

Pohjamaaluokka

☐ A

☐ B

☐ C

☐ D

☐ E

☐ F

☐ G

☐ Karkearakeinen

☒ Ei tietoa

Tierak. suunnitteluohjeen mukaan

$E_{kesä} = 5$  MPa

Teillä, joissa rakenteesta ei juurikaan ole tietoa, rakenteen paksuus oletetaan esim. 0.5 m paksuksi.

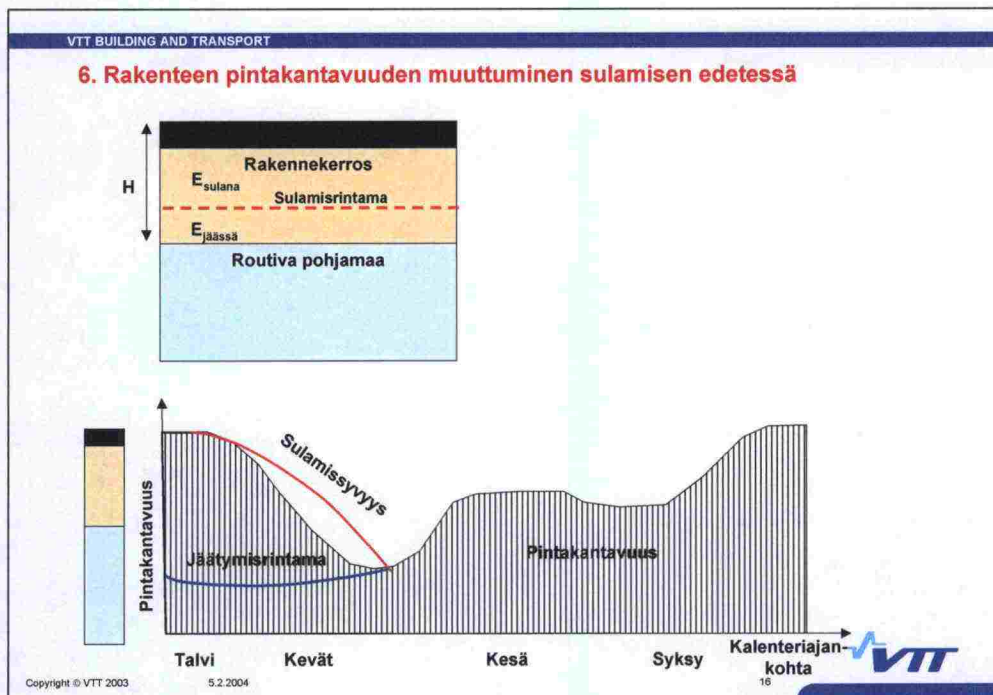
Mitatun pintakantavuuden perusteella lasketaan takaisin päin rakenteen rakennekerroksen ja pohjamaan moduulit, taikka ne asetetaan ohjelmallisesti annettun tiedon perusteella (vrt. oheinen ruksaustietomuoto).

Pohjamaan ja rakennekerrosten moduulit laskentaohjelmassa muutetaan sulamistilanteen (ilmastotieto tai paikallinen, mitattu ja interpoloitu säätieto) perusteella, ja niistä edelleen lasketaan tien pintakantavuus.

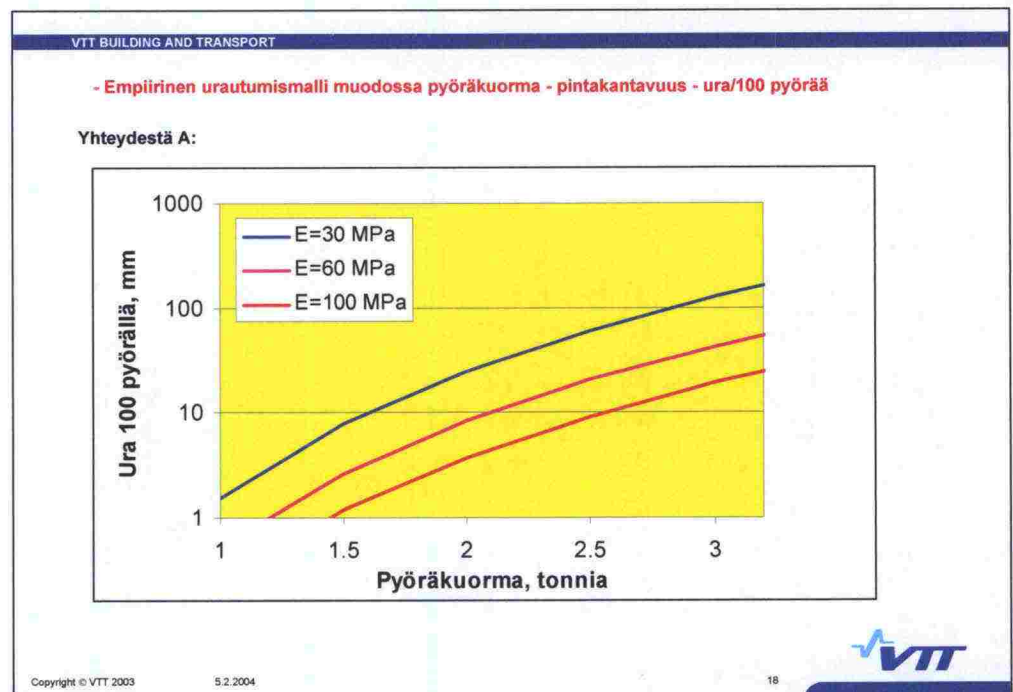
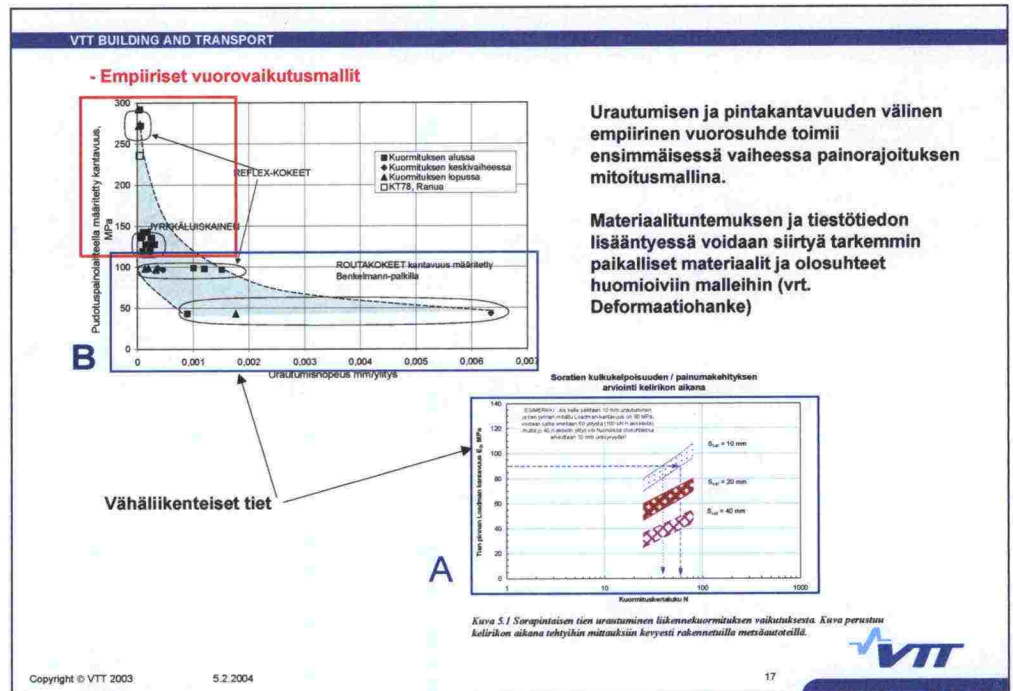
Urautuminen lasketaan edelleen pintakantavuuden ja urautumisen välisen empirisen mallin avulla.

Copyright © VTT 2003 5.2.2004 15

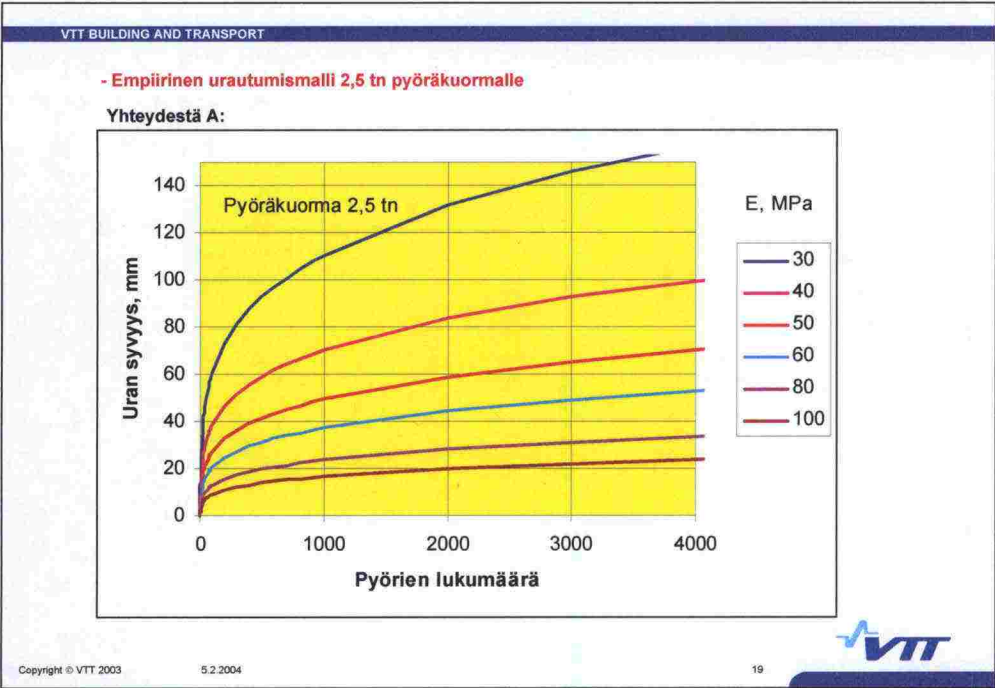
VTT



## LIITTEET







VTT BUILDING AND TRANSPORT

7. Kelirikkokauden urautumisen laskenta

7.1 Laskentamenettelyn tuottama tulos taulukkomuodossa

Halutut painorajoitus-portaat

Eri painorajoitustasojen vaikutukset uran muodostumiseen lasketaan 'valmiiksi' eri painorajoitustasoille

Tässä esimerkkinä 4tonnin, 12 tonnin ja 18 tonnin kokonaispaino -rajoitukset

Pvm	Lämpö ilma	Lämpö maa	Sulamis-syvyys	Routa-syvyys	Kanta-vuus	perus	4 ton	12 ton	18 ton	kokonais
1.4.2003	-1.5	0.0	0	150	442	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2.4.2003	-1.3	0.3	0	150	442	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3.4.2003	-1.0	0.3	0	150	442	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4.4.2003	-0.8	0.2	0	150	442	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5.4.2003	-0.5	0.2	0	150	442	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6.4.2003	-0.3	0.1	0	150	442	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7.4.2003	0.0	0.1	0	150	442	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8.4.2003	0.3	0.0	0	150	442	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
9.4.2003	0.5	0.6	0	150	442	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10.4.2003	0.8	1.1	4	150	227	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
11.4.2003	1.0	1.7	10	150	120	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
12.4.2003	1.3	2.2	14	150	95	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2
13.4.2003	1.5	2.8	18	150	82	0.0	0.0	0.2	0.5	0.7
14.4.2003	1.8	3.3	22	150	75	0.5	0.2	0.6	1.3	2.6
15.4.2003	2.0	3.9	25	150	71	1.0	0.4	1.0	2.1	4.5
16.4.2003	2.3	4.4	29	150	67	1.6	0.6	1.4	2.9	6.5
17.4.2003	2.5	5.0	32	150	65	2.2	0.9	1.8	3.7	8.5
18.4.2003	2.8	5.6	36	150	63	2.8	1.1	2.2	4.5	10.6
19.4.2003	3.0	6.1	39	150	61	3.4	1.3	2.6	5.3	12.6
20.4.2003	3.3	6.6	43	150	57	4.0	1.6	3.0	6.1	14.7
21.4.2003	3.5	7.2	46	150	56	4.7	1.9	3.4	6.9	16.9
22.4.2003	3.8	7.7	50	150	55	5.4	2.2	3.8	7.7	19.0
23.4.2003	4.0	8.3	53	150	54	6.1	2.4	4.2	8.5	21.2
24.4.2003	4.3	8.8	57	150	53	6.8	2.7	4.6	9.3	23.4
25.4.2003	4.5	9.4	60	150	53	7.5	3.0	5.0	10.1	25.6
26.4.2003	4.7	9.9	64	150	52	8.2	3.3	5.4	10.9	27.0
27.4.2003	5.0	10.4	70	150	51	9.0	3.6	5.8	11.7	28.4
28.4.2003	5.2	11.0	80	150	50	9.7	3.9	6.2	12.5	29.9
29.4.2003	5.5	11.5	83	150	49	10.5	4.2	6.6	13.3	31.4
30.4.2003	5.7	12.0	86	150	49	11.2	4.5	7.0	14.1	32.8

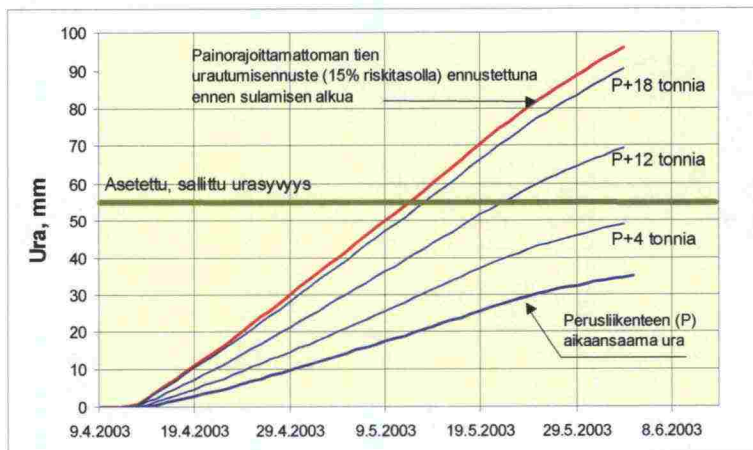
Copyright © VTT 2003 5.2.2004 20

## LIITTEET

VTT BUILDING AND TRANSPORT

**7.2 Painorajoitusennuste sulamiskauden alussa - periaatekuva**

Sulamiskauden alussa perusliikenteen ja painorajoitetun liikenteen aikaansaama urautuminen lasketaan ilmastotietojen pohjalta: tiesääsämien mitatuista tai lasketuista roudansyvyystiedoista ja kevään lämpöastesummien ennustetiedoista.



Copyright © VTT 2003

5.2.2004

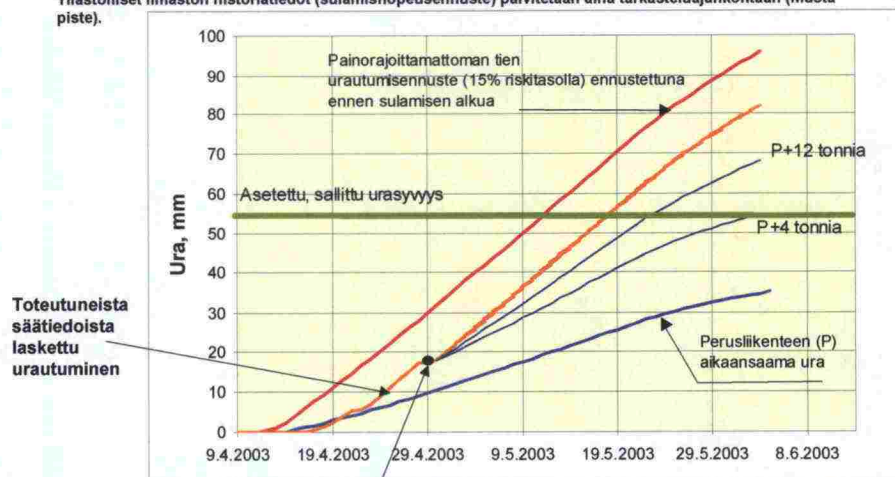
21



VTT BUILDING AND TRANSPORT

**7.3 Painorajoitusennuste sulamiskaudella mitatuilla lämpötiloilla ja kantavuuslaskennoilla tarkennettuna - periaatekuva**

Painorajoituksen asetusajankohtaa voidaan tarkastella laskennallisesti myös keliikkourautumisen käynnistymisen jälkeen esimerkiksi, jos kevät alkaa kylmänä ja tien kantavuus säilyy pitkään suurena. Tilastolliset ilmastohistoriatiedot (sulamisnopeusennuste) päivitetään aina tarkasteluajankohtaan (musta piste).



Copyright © VTT 2003

5.2.2004

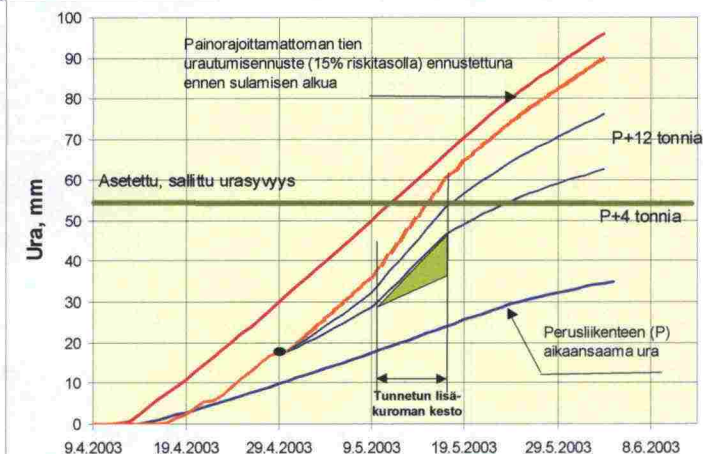
22



## VTT BUILDING AND TRANSPORT

**7.4 Painorajoitusennusteen korjaaminen huomioimalla päästettävä, ajallisesti rajoitettu lisäliikenne**

Jos seurantatajakson aikana ilmenee tarve neuvotella esimerkiksi tunnetun puukuljetuksen sallimisesta rajoitettuna aikana, voidaan urautumisen lisäyksen vaikutus tulevaan painorajoitukseen huomioida lisäämällä puukuljetuksen vaikutus urautumislaskelman tulokseen.



Copyright © VTT 2003

5.2.2004

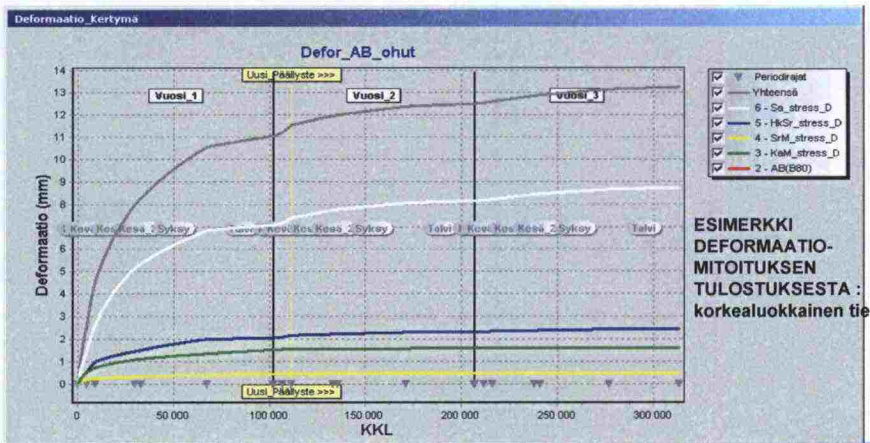
23



## VTT BUILDING AND TRANSPORT

**7.6 Deformaatiohankkeen tuottama urautumislaskentatulokset**

Tien deformaatiolaskentamenettelyä ollaan vuodenvaihteessa 2003/2004 oltu kehittämässä sellaisille teille, joissa rakennekerrospaksuus ja materiaalit kohtuudella tunnetaan. Periaatteessa menettely soveltuu myös vähäliikenteisille teille keliurakoituna, mutta tällä hetkellä ohjelman tarvitsemaa materiaaalimallia ei käytännössä oleteta pystyttävän määrittämään kaikkien vähäliikentesimmiä teitä. Myös haitallisessa määrin tien rakenteeseen tunkeutuvan veden vaikutus edellyttää lisätutkimuksia.



ESIMERKKI  
DEFORMAATIO-  
MITOITUKSEN  
TULOSTUKSESTA :  
korkealuokkainen tie

Copyright © VTT 2003

5.2.2004

24





ISSN 1457-9871  
ISBN 951-803-223-8  
TIEH 3200858